

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Mecànica**

**ESTACIÓ DE RECÀRREGA AUTOMÀTICA PER A DRONS**



**Memòria i Annexos**

<b>Autor:</b>	David De La Fuente Puigdemunt
<b>Director:</b>	Antoni Grau
<b>Co-Director:</b>	Edmund Guerra Paradas
<b>Convocatòria:</b>	Octubre 2017





## Resum

Des de fa uns anys, propiciats per el continu desenvolupament de l'electrònica s'han popularitzat uns aparells voladors, els Vehicles Aeris no Tripulats o VANT, també coneguts amb les sigles UAV en anglès, tot i que habitualment se'ls anomena DRONS. L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar una estructura que permeti incloure un dispositiu de recarrega automàtica de drons, destinats a ús comercial. Així mateix, l'estructura ha de ser portable dintre del rang de les seves dimensions i s'ha d'adaptar a diferents terrenys i condicions ambientals.

Tot i els diferents noms que se'ls hi pugui atribuir a aquests aparells el concepte es el mateix: un vehicle aeri que no té pilot humà dins l'aparell. L'habilitat humana ha sigut substituïda per sensors electrònics de gran precisió, com ara acceleròmetres o giroscopis que permeten una maniobrabilitat igual o millor que l'aportada per l'home.

Encara que majoria de drons requereixen un control humà a distància, cada cop és més comú el control autònom de l'aparell utilitzant tecnologies com el GPS (Global Positioning System) amb l'objectiu que el dron es pugui enlairar, realitzar la seva tasca i aterrar, tot sense intervenció humana.

Hi ha drons amb grans capacitats d'autonomia com poden ser els UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), que poden volar distàncies de més de 500km sense haver de recarregar les bateries, però estan destinats a ús militar degut a que necessiten una pista d'aterratge, un complicat control humà a distància i estan dissenyats per volar a 1400m d'altitud. Els drons d'ús comercial i civil més popularitzats són els anomenats multirrotors, semblants a un helicòpter amb diverses hèlices (normalment quatre). El fet de tenir diverses hèlices els hi dona una gran capacitat de maniobrabilitat, així com una gran potència per transportar objectes o volar a grans velocitats. Tot i aquestes avantatges tenen un greu problema que és l'autonomia, la majoria d'aquests drons no sobrepassen els 30km sense haver de recarregar les seves bateries.

Es fàcil imaginar-se doncs, un futur proper on els drons multirrotors automàtics puguin realitzar tasques de missatgeria o reparar maquinaria en zones de difícil accés. L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar una plataforma d'aterratge connectada a una torre portàtil dotada amb un aerogenerador i una placa solar que permetin una recàrrega autònoma d'aquest tipus de drons.

## Resumen

Desde hace unos años, propiciados por el continuo desarrollo de la electrónica se han popularizado unos aparatos voladores, los Vehículos Aéreos no Tripulados o VANT, también conocidos con las siglas UAV en inglés, a pesar de que habitualmente se los denomina DRONES. El objetivo de este trabajo es desarrollar una estructura que permita incluir un dispositivo de recarga automática de drones, destinados a uso comercial. Así mismo, la estructura tiene que ser portable dentro del rango de sus dimensiones y se tiene que adaptar a diferentes terrenos y condiciones ambientales.

A pesar de los diferentes nombres que se les pueda atribuir a estos aparatos el concepto es el mismo: un vehículo aéreo que no tiene piloto humano dentro del aparato. La habilidad humana ha sido sustituida por sensores electrónicos de gran precisión, como por ejemplo acelerómetros o giroscopios que permiten una maniobrabilidad igual o mejor que la aportada por el hombre.

Aunque la mayoría de drones requieren un control humano a distancia, cada vez es más común el control autónomo del aparato utilizando tecnologías como el GPS (Global Positioning System) con el objetivo que el dron se pueda elevar, realizar su tarea y aterrizar, todo sin intervención humana.

Hay drones con grandes capacidades de autonomía como pueden ser los UCAV (Unmanned Combate Air Vehicle), que pueden volar distancias de más de 500km sin tener que recargar las baterías, pero están destinados a uso militar debido a que necesitan una pista de aterrizaje, un complicado control humano a distancia y están diseñados para volar a 1400m de altitud. Los drones de uso comercial y civil más popularizados son los llamados multirrotores, semejantes a un helicóptero con varias hélices (normalmente cuatro). El hecho de tener varias hélices les da una gran capacidad de maniobrabilidad, así como una gran potencia para transportar objetos o volar a grandes velocidades. A pesar de estas ventajas tienen un grave problema que es la autonomía, la mayoría de estos drones no sobrepasan los 30km sin tener que recargar sus baterías.

Es fácil imaginarse pues, un futuro cercano donde los drones multirrotores automáticos puedan realizar tareas de mensajería o reparar maquinaria en zonas de difícil acceso. El objetivo de este proyecto es diseñar una plataforma de aterrizaje conectada a una torre portátil dotada con un aerogenerador y una placa solar que permitan una recarga autónoma de este tipo de drones.

## Abstract

Since some years ago, propelled by the continuous development of electronics, has been popularized a new type of flying machines, unmanned aerial vehicles or UAV, although they are usually called DRONES. The objective of this project is to develop a structure that allows including an automatic recharge device for drones, intended for commercial use. Likewise, the structure has to be portable within the range of its dimensions and has to adapt to different terrains and environmental conditions.

Despite the different names attributed to these devices, the concept is the same: an air vehicle that has no human pilot inside the device. Highly accurate electronic sensors, such as accelerometers or gyros that allow maneuverability equal to or better than the one provided by humans, have replaced human skill.

Although the majority of drones require human control at a distance, it is increasingly common to control the device autonomously using technologies such as GPS (Global Positioning System) with the objective that the drone can be raised, perform its task and land, all without human intervention.

There are drones with great autonomy capabilities such as UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), which can fly distances of more than 500km without having to recharge its batteries, but those are destined for military use only because they need a runway, a complicated human remote control and they designed to fly at 1400m above sea level. The most popular commercial and civilian drones are the so-called multi-rotors, similar to a helicopter with several propellers (usually four). The fact of having several propellers gives them a great capacity of maneuverability, as well as a great power to transport objects with a considerable speed. Although these advantages, they have a serious problem that is the autonomy, most of these drones do not exceed 30km without having to recharge their batteries.

It is easy to imagine then, a near future where automatic multi-rotor drones can perform messaging or reparation of machinery in areas of difficult access. The objective of this project is to design a landing platform connected to a portable tower equipped with a wind turbine and a solar panel that will allow an autonomous recharge of this type of drones.



## Agraïments

*Agraeixo al meu tutor Antoni Grau les recomanacions i ajudes prestades durant l'elaboració d'aquest treball, així com agraeixo al meu pare que m'ha ajudat a contactar amb diverses empreses i per finalitzar però no amb menys importància, a la meva mare, que m'ha proporcionat la seva ajuda indispensable per a la redacció d'aquest projecte.*



## Glossari

**I<sub>sc</sub>** = Corrent de curtcircuit: és el corrent produït pel panell quan la càrrega té resistència zero (curtcircuit).

**V<sub>oc</sub>** = Tensió de circuit obert: és el voltatge generat quan no hi ha càrrega (resistència infinita, circuit obert).

**MPP** = Punt de Màxima Energia: és la combinació de voltatge i corrent que proporcionen la màxima energia.

**V** = Velocitat del vent a l'altura desitjada (m/s).

**V<sub>o</sub>** = Velocitat del vent a 2m (m/s).

**h** = alçada del molí (m).

**h<sub>o</sub>** = alçada de la mesura d'**V<sub>o</sub>** (m/s).

**Paire** = Densitat de l'aire (1,225 kg/m<sup>3</sup>).

**A<sub>ref</sub>** = Àrea d'impacte pel vent (m<sup>2</sup>).

**V<sub>ref</sub>** = Velocitat del vent (m/s).

**C<sub>f</sub>** = Coeficient de forma.

**F<sub>R</sub>** = Força exercida al rotor (N)

**V<sub>vent</sub>** = Velocitat del vent considerada (m/s)

**R<sub>rotor</sub>** = Radi del rotor (m)

**CT (λ)** = Coeficient d'empenta en funció de λ

**D cilindre** = Diàmetre del cilindre (m)

**V vent (z)** = Velocitat del vent en funció de l'altura (m/s)

**F<sub>mx</sub>** = Força horitzontal causada pel vent en impactar contra les aspes del molí (N)

**F<sub>pm</sub>** = Força vertical causada pel pes del molí (N)

**F<sub>tx</sub>** = Força horitzontal causada pel vent en impactar contra els tubs que conformen la torre (N)



**F<sub>tp</sub>** = Força vertical causada pel pes de la torre (N)

**F<sub>px</sub>** = Força horitzontal causada pel vent en impactar contra la placa solar (N)

**F<sub>py</sub>** = Sumatori del mòdul vertical de força causada pel vent en impactar contra la placa solar més la força causada pel pes de la placa. (N)

**N** = Càrrega vertical de compressió causada pel pes propi de tota l'estructura i pel vent a la placa (N).

**V** = Força de reacció horitzontal causada per l'impacte del vent sobre tota l'estructura. Anirà en sentit contrari a la direcció del vent (N)

**M** = Moment flector causat per l'impacte del vent sobre tota l'estructura. Pot actuar en qualsevol direcció (N · m)

$\gamma_f \cdot F_k$  = És la tensió màxima  $\sigma_{\max}$  multiplicada pel factor de la hipòtesis de càrrega o tensió admissible  $\sigma_{\text{adm}}$ .

$f_k$  = És el valor de la tensió de límit elàstic del material.

$\gamma_m$  = És el valor del factor de seguretat pels materials

$\sigma_{\text{MAX}}$  = Tensió màxima soferta per l'estructura (MPa)

**M<sub>MAX</sub>** = Moment màxim, situat a la base de la torre (N.mm)

**I<sub>x</sub>** = Moment d'inèrcia en l'eix x (mm<sup>4</sup>)

**A<sub>c</sub>** = Àrea tallant de la torre (mm<sup>2</sup>)

$\tau$  = Tensió tangencial (N/mm<sup>2</sup>) (MPa)

**V** = Valor del esforç tallant (N)

**Q** = Moment estàtic (mm<sup>3</sup>)

**b** = Distància de la secció total (mm)

**I** = Moment d'inèrcia (mm<sup>4</sup>)



# Índex

<b>RESUM</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IV</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>VI</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCIÓ</b>	<b>1</b>
1.1. Objectius del treball .....	1
1.2. Abast del treball .....	1
<b>2. COMPONENTS UTILITZATS</b>	<b>2</b>
2.1. Aerogenerador .....	2
2.1.1. Tipus d'aerogeneradors.....	4
2.1.2. Model utilitzat .....	6
2.2. Placa solar .....	7
2.3. Bateria.....	9
2.4. Cablejat.....	11
<b>3. TORRE DE SUPORT PORTÀTIL</b>	<b>14</b>
3.1. Disseny de la torre de suport .....	14
3.1.1. Disseny de la base de suport.....	16
3.1.2. Disseny de la primera secció elevadora .....	19
3.1.3. Disseny de la segona secció elevadora .....	21
3.2. Disseny de la plataforma d'aterratge .....	22
3.2.1. Disseny de la planxa .....	22
3.2.2. Disseny de les potes .....	23
3.3. Zona d'emplaçament òptima .....	24
3.4. Tirants i àncores de fixació .....	26
<b>4. ENERGIA MITJANA OBTINGUDA</b>	<b>29</b>
4.1. Energia obtinguda mitjançant la placa solar.....	29
4.2. Energia obtinguda mitjançant el molí eòlic .....	32
4.3. Energia total obtinguda.....	35
<b>5. CÀLCUL DE LA INCLINACIÓ ÒPTIMA PER A LA PLACA SOLAR</b>	<b>37</b>

<b>6.</b>	<b>ESTUDI FINAL TORRE DE CÀRREGA</b>	<b>39</b>
6.1.	Preparació estudi.....	39
<b>7.</b>	<b>CONSIDERACIONS FINALS DE DISSENY I DIMENSIONAMENT</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>55</b>
8.1.	Impacte ambiental de l'alumini. ....	55
8.2.	Impacte ambiental de la bateria de plom-àcid.....	56
8.3.	Estalvi mediambiental degut a la generació d'electricitat mitjançant fonts renovables .....	58
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>61</b>
	<b>PRESSUPOST</b>	<b>63</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>67</b>
	<b>ANNEX A: Càlcul dels esforços produïts</b>	<b>68</b>
A.1	Diferents esforços a considerar .....	68
A.2	Càlcul dels esforços aerodinàmics .....	69
A.2.1	Càlcul de la força del vent sobre el molí.....	69
A.2.2	Càlcul de la força del vent sobre l'estructura de suport .....	72
A.2.3	Càlcul de la força del vent sobre la placa solar .....	75
A.3	Diagrama de Forces .....	81
A.4	Excentricitat del molí .....	87
A.5	Càlcul tirants i ancoratges.....	89
	<b>ANNEX B: Dimensionament de la torre</b>	<b>94</b>
B.1	Dimensionament del cilindre principal.....	94
B.2	Dimensionament del cilindre interior per a la base i el primer tram .....	99
B.3	Dimensionament del cilindre interior per al segon tram.....	103
B.4	Dimensionament del suport de la placa solar .....	104
B.5	Dimensionament dels tirants i ancoratges.....	107
B.6	Dimensionament de la peça de suport dels tirants .....	110
	<b>ANNEX C: Dimensionament de la plataforma</b>	<b>111</b>
	<b>ANNEX D: Manual preparació i muntatge torre de càrrega</b>	<b>115</b>
D.1	Eines necessàries .....	116
D.2.	Peces incloses .....	117
D.3.	Manual preparació prèvia .....	119

---

D.4. Manual muntatge .....	125
<b>ANNEX E. MANUAL PREPARACIÓ I MUNTATGE PLATAFORMA ATERRATGE __</b>	<b>136</b>
<b>ANNEX F. FULLS DE CARACTERÍSTIQUES _____</b>	<b>151</b>
F.1 Full característiques placa solar .....	151
F.2 Full característiques molí eòlic .....	153

## ÍNDEX DE FIGURES

<b>Figura 2.1.</b> Parc eòlic de Rubió (Font: Josep Garcia).....	2
<b>Figura 2.2.</b> Microturbina Air 40 utilitzada (Font: Primus Wind Power ).....	3
<b>Figura 2.3.</b> Generador elèctric tipus (Font: Google Imágenes ).....	4
<b>Figura 2.4.</b> Turbina multipala i monopala d'eix horitzontal (Font: Aerotrope).....	5
<b>Figura 2.5.</b> Aerogeneradors tipus Savionus (Font: archiexpo.es).....	6
<b>Figura 2.6.</b> Irradiància mitjana anual segons latitud (Font: The Comet Program).....	7
<b>Figura 2.7.</b> Corba intensitat/voltatge tipus d'una placa solar (Font: grupoelektra.es).....	8
<b>Figura 2.8.</b> Representació d'una bateria plom-àcid (Font: Techno sun ).....	10
<b>Figura 3.1.</b> Prototip torre amb aerogenerador (Font: ecoinventos.com).....	14
<b>Figura 3.2.</b> Model SolarStick Lite (Font: altern-energy.com ).....	15
<b>Figura 3.3.</b> Vista seccionada tub base amb suport per al següent tram massís figura (Font pròpia ).....	16
<b>Figura 3.4.</b> Vista seccionada tub base amb suport per al següent tram format per una "creueta soldada" (Font pròpia).....	17
<b>Figura 3.5.</b> Vista seccionada tub base amb suport per al següent tram definitiu (Font pròpia).....	17
<b>Figura 3.6.</b> Detall soldadura (Font pròpia).....	18
<b>Figura 3.7.</b> Vista seccionada funcionament del encaix (Font pròpia).....	18
<b>Figura 3.8.</b> Vista fotorealista de la base completa (Font pròpia).....	19
<b>Figura 3.9.</b> Pestanyes foradades (Font pròpia).....	20
<b>Figura 3.10.</b> Primer tram amb la placa solar (Font pròpia).....	20
<b>Figura 3.11.</b> Vista frontal fotorealista del primer tram (Font pròpia).....	21
<b>Figura 3.12.</b> Vista lateral del segon tram amb excentricitat (Font pròpia).....	21
<b>Figura 3.13.</b> Vista frontal fotorealista del segon tram (Font pròpia).....	22
<b>Figura 3.14.</b> Vista de les dues parts de la plataforma d'aterratge (Font pròpia).....	23
<b>Figura 3.15.</b> Secció regulable d'una crossa(Font: Alquileres Ortopédicos ).....	23
<b>Figura 3.16.</b> Disseny de pota utilitzat (Font: Meca Metal ).....	24
<b>Figura 3.17.</b> Esquema del comportament del vent sobre turons (Font: Manual d'usuari Primus AIR).....	25
<b>Figura 3.18.</b> Esquema del comportament del vent sobre turons (Font: Manual d'usuari Primus AIR).....	25
<b>Figura 3.19.</b> Esquema de les turbulències generades per un obstacle com una casa (Font: Manual d'usuari Primus AIR).....	26
<b>Figura 3.20.</b> Tensors ullet (Font: amazon.es).....	27
<b>Figura 3.21.</b> Àncora tipus duckbill (Font: earthanchor.com).....	27
<b>Figura 3.22.</b> Procés de fixació d'una àncora Duckbill (Font: primuswindpower.com).....	28
<b>Figura 4.2.</b> Esquema elèctric de l'estació (Font pròpia).....	29
<b>Figura 4.2.</b> Característiques placa solar ( Font: generator.co.il).....	30
<b>Figura 4.3.</b> Localització proposada al PVGIS (Font: Google Maps).....	31

<b>Figura 4.4.</b> Producció estimada d'electricitat (kWh) segons velocitat del vent (m/s) (Font: Primus Wind Power).....	34
<b>Figura 5.1.</b> Representació de l'angle $\beta$ en una placa solar (Font: solar-energia.net).....	37
<b>Figura 6.1.</b> Establiment dels materials al simulador (Font pròpia).....	39
<b>Figura 6.2.</b> Establiment de les connexions al simulador (Font pròpia).....	40
<b>Figura 6.3.</b> Establiment de les forces al simulador (Font pròpia).....	41
<b>Figura 6.4.</b> Representació de les forces (color violeta) i els punts de suport de la torre (color verd) (Font pròpia).....	41
<b>Figura 6.5.</b> Vista isomètrica de les tensions de Von Mises actuant a la torre (Font pròpia).....	42
<b>Figura 6.6.</b> Detall tensions de Von Mises al suport de la placa solar (Font pròpia).....	42
<b>Figura 6.7.</b> Valor màxim de la tensió al suport en forma de "Y" (Font pròpia).....	43
<b>Figura 6.8.</b> Detall de les tensions de Von Mises actuant a la base (Font pròpia).....	43
<b>Figura 6.9.</b> Valor màxim de la tensió de Von Mises a la base (Font pròpia).....	44
<b>Figura 6.10.</b> Vista isomètrica de les tensions de Von Mises actuant a la torre (Font pròpia).....	45
<b>Figura 6.11.</b> Vista isomètrica de les tensions de Von Mises actuant a la torre (Font pròpia).....	45
<b>Figura 6.12.</b> Vista lateral dels desplaçaments a la torre (Font pròpia).....	46
<b>Figura 6.13.</b> Vista dels pern a la base (Font pròpia).....	47
<b>Figura 6.14.</b> Valors de força axial, moment flector, moment torsor, força tallant i força axial dels pern que no han passat la prova (Font pròpia).....	47
<b>Figura 6.15.</b> Vista isomètrica de les tensions de Von Mises amb arriostament (Font pròpia).....	48
<b>Figura 7.1.</b> Vista de la base amb la comprovació de pern correcta (Font pròpia).....	49
<b>Figura 7.2.</b> Vista de detall de la subjecció de la placa solar amb gruix 13mm (Font pròpia).....	50
<b>Figura 7.3.</b> Vista fotorealista del segon tram amb agafadora (Font pròpia).....	50
<b>Figura 7.4.</b> Vista fotorealista del disseny final de la torre (Font pròpia).....	51
<b>Figura 7.5.</b> Vista fotorealista del disseny final de l'estació (Font pròpia).....	52
<b>Figura 7.6.</b> Vista de les tensions de Von Mises a la peça de subjecció (Font pròpia).....	53
<b>Figura 8.1.</b> Gràfic de Kg de CO <sub>2</sub> equivalent per MJ d'energia (Font: opus.bath.ac.uk ).....	56
<b>Figura 8.2.</b> Gràfic comparatiu dels diferents tipus de contaminació que generen les bateries (Font: opus.bath.ac.uk ).....	57
<b>Figura A.1.</b> Taula de característiques del molí (Font: Primus Wind Power ).....	70
<b>Figura A.2.</b> Coeficient d'empenta d'una turbina com una funció de les velocitats al rotor (Font: Kühn M., Dynamics and Design Optimisation of Offshore Wind Energy Conversion Systems PhD. Thesis, Delft University of Technology, Institute for Wind Energy, May 2001.).....	71
<b>Figura A.3.</b> Pressió provocada pel flux d'aire al voltant del tub que forma la torre (Pa) (Font pròpia).....	74
<b>Figura A.4.</b> Velocitat del flux d'aire al voltant del tub que forma la torre (m/s) (Font pròpia).....	74
<b>Figura A.5.</b> Esquema de les variables per al procediment de càlcul (Font: UNE-ENV_1991-2-4).....	75



<b>Figura A.6.</b> Gràfic factor d'esveltesa - esveltesa (Font: UNE-ENV_1991-2-4).....	76
<b>Figura A.7.</b> Diagrama de forces a la placa obtingut amb el procediment de càlcul (Font pròpia).....	77
<b>Figura A.8.</b> Pressió del flux d'aire al voltant de la placa solar (Pa) (Font pròpia).....	78
<b>Figura A.9.</b> Velocitat del flux d'aire al voltant de la placa solar (m/s) (Font pròpia).....	78
<b>Figura A.10.</b> Pressió del flux d'aire en sentit oposat al voltant de la placa solar (Pa) (Font pròpia).....	79
<b>Figura A.11.</b> Velocitat del flux d'aire al voltant de la placa solar (m/s) (Font pròpia).....	80
<b>Figura A.12.</b> Pes de tots els components que formen la torre (Font pròpia).....	81
<b>Figura A.13.</b> Representació de les forces que intervenen a la torre (Font pròpia).....	82
<b>Figura A.14.</b> Diagrama de moments flectors a la torre (Font pròpia).....	86
<b>Figura A.15.</b> Moments generats amb excentricitat al molí (Font pròpia).....	87
<b>Figura A.16.</b> Disposició dels tirants (Font pròpia).....	89
<b>Figura A.17.</b> Força de reacció dels tirants segons direcció del vent (Font pròpia).....	91
<b>Figura B.1.</b> Cilindre principal de la torre (Font pròpia).....	94
<b>Figura B.2.</b> Indicacions tipus de cilindre (Font pròpia).....	99
<b>Figura B.3.</b> Esforç tallant entre trams (Font pròpia).....	100
<b>Figura B.4.</b> Distinció entre cilindres (Font pròpia).....	103
<b>Figura B.5.</b> Braç en forma de "Y" (Font pròpia).....	104
<b>Figura B.6.</b> Diagrama de forces al braç en forma de "Y" (Font pròpia).....	104
<b>Figura B.7.</b> Tipus de trenat 7x7 per a un cable d'acer (Font: tecni-cable.co.u).....	107
<b>Figura B.8.</b> Tensor d'ullet (Font pròpia).....	108
<b>Figura B.9.</b> Mosquetó tipus k amb anella de seguretat (Font: proalt.es).....	109
<b>Figura B.10.</b> Peça suport per als tirants (Font pròpia).....	111
<b>Figura C.1.</b> Desplaçaments en mm de la plataforma d'aterratge (Font pròpia).....	111
<b>Figura C.2.</b> Tensions en N/m <sup>2</sup> a la plataforma d'aterratge (Font pròpia).....	112
<b>Figura C.3.</b> Tensió màxima de la plataforma d'aterratge (Font pròpia).....	113
<b>Figura C.4.</b> Tensió màxima suport de reixeta (Font pròpia).....	114
<b>Figura C.5.</b> Plataforma d'aterratge (Font pròpia).....	114

## ÍNDIX DE TAULES

<b>Taula 2.1.</b> Característiques necessàries per a cables d'exterior segons RBT(Font: iet.es).....	10
<b>Taula 2.2.</b> Característiques cablejat RVK (Font: cablesrct.com).....	11
<b>Taula 4.1.</b> Taules de producció d'energia amb la placa solar segons inclinació i mes (Font: PVGIS).....	29
<b>Taula 4.2.</b> Taula de velocitat i direcció dominants del vent a diverses estacions meteorològiques de Catalunya (Font: IDESCAT).....	32
<b>Taula 4.3.</b> Taula energia total obtinguda suposant una capacitat d'emmagatzematge il·limitada (Font: PVGIS).....	35
<b>Taula 4.4.</b> Taula energia total obtinguda (Font: PVGIS).....	36
<b>Taula 5.1.</b> Inclinació òptima segons el període de disseny utilitzant la fórmula del "mes pitjor" (Font pròpia).....	38
<b>Taula 8.1.</b> Ecopunts per al lignit, petroli i carbó (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad).....	58
<b>Taula 8.2.</b> Ecopunts per a l'energia nuclear, energia fotovoltaica o gas natural (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad).....	59
<b>Taula 8.3.</b> Ecopunts per a l'energia eòlica i mini hidràulica (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad).....	59
<b>Taula 8.4.</b> Total d'ecopunts desglossat segons actiu contaminant i sistema utilitzat (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad).....	60
<b>Taula A.1.</b> Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent pel generador eòlic (Font pròpia).....	72
<b>Taula A.2.</b> Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent pels tubs que formen la torre (Font pròpia).....	73
<b>Taula A.3.</b> Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent per la placa solar (Font pròpia).....	77
<b>Taula A.4.</b> Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent en sentit oposat per la placa solar (Font pròpia).....	79
<b>Taula A.5.</b> Relació entre l'alçada de la torre i l'alçada d'instal·lació dels tirants (Font: Recommendations for Guyed Masts, International Association for Shell and Spatial Structures, 1981).....	90
<b>Taula B.1.</b> Propietats mecàniques de diferents estats de l'alumini 6063 (Font pròpia).....	96
<b>Taula B.2.</b> Càlculs per al cilindre exterior d'alumini 6063 T5 (Font pròpia).....	98
<b>Taula B.3.</b> Càlculs per al cilindre exterior d'alumini 6063 T5 (Font pròpia).....	99
<b>Taula B.3.</b> Càlcul cilindre interior alumini 6063 T5 primer tram (Font pròpia).....	102
<b>Taula B.4.</b> Càlcul cilindre interior alumini 6063 T5 segon tram(Font pròpia).....	103
<b>Taula B.5.</b> Càlcul per al braç en forma de "Y" amb alumini 6063 T5(Font pròpia).....	106

<b>Taula B.6.</b> Valors de pes i força mínima de ruptura per a diferents valors de diàmetre del tirant (Font pròpia).....	107
<b>Taula B.7.</b> Dimensions per al tensor d'ullet (Font pròpia).....	108
<b>Taula B.8.</b> Valors de força màxima de treball per a diferents models d'àncores (Font: Duckbill).....	108



## Introducció

El desenvolupament de la tecnologia de drons ha augmentat de manera exponencial els últims anys, cada cop es més fàcil veure drons destinats a reparacions d'antenes on d'altra manera seria molt més difícil i costós arribar-hi. Malgrat això, el disseny de les bateries segueix sent un problema ja que aquestes han de poder acumular una gran quantitat d'energia amb unes dimensions i pes reduïts. El tipus de bateria més utilitzat són les de LiPo (ions de liti) que són les mateixes que podem trobar als ordinadors o telèfons mòbils. Aquestes bateries tenen l'avantatge de ser de mida i pes reduïdes en comparació amb les tradicionals bateries de plom que podem trobar als cotxes però la seva capacitat de càrrega es molt baixa per als potents motors dels drons d'ús industrial. Això fa que la durada mitja de la bateria d'un dron siguin uns 30 minuts, fet que limita la capacitat operativa d'aquests.

Així doncs, davant la impossibilitat d'augmentar l'autonomia d'aquests drons, el que cerco en aquest treball és construir una estació de càrrega que sigui portàtil i que funcioni remotament.

### 1.1. Objectius del treball

L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar una estructura de càrrega prioritzant la portabilitat i la facilitat d'ús.

### 1.2. Abast del treball

El treball consistirà en un estudi previ per tal de determinar el disseny de l'estació. Aquest estudi de disseny serà complimentant amb altres estudis d'emplaçament, posicionament i muntatge. Posteriorment a aquests estudis es realitzaran els càlculs justificatius per al dimensionament dels diferents elements que formen l'estació, establint-ne el disseny final. Aquests càlculs es contrarestaran amb una eina complementària del programa de disseny, el SolidWorks Flow i el SolidWorks Simulation. Finalment s'avaluarà l'impacte mediambiental i el cost econòmic de l'estructura.

## 2. Components utilitzats

### 2.1. Aerogenerador

Un aerogenerador o moli eòlic és una màquina capaç de transformar l'energia cinètica del vent en energia mecànica. Segons l'ús que se li donarà a aquesta energia mecànica, es poden dividir en dos tipus: els aerogeneradors que utilitzen aquesta energia mecànica per a l'accionament d'un generador elèctric i així generar electricitat, o els aeromotors que utilitzen directament aquesta energia mecànica per a l'accionament d'una màquina. La generació d'energia elèctrica és l'ús de l'energia eòlica més important avui dia.

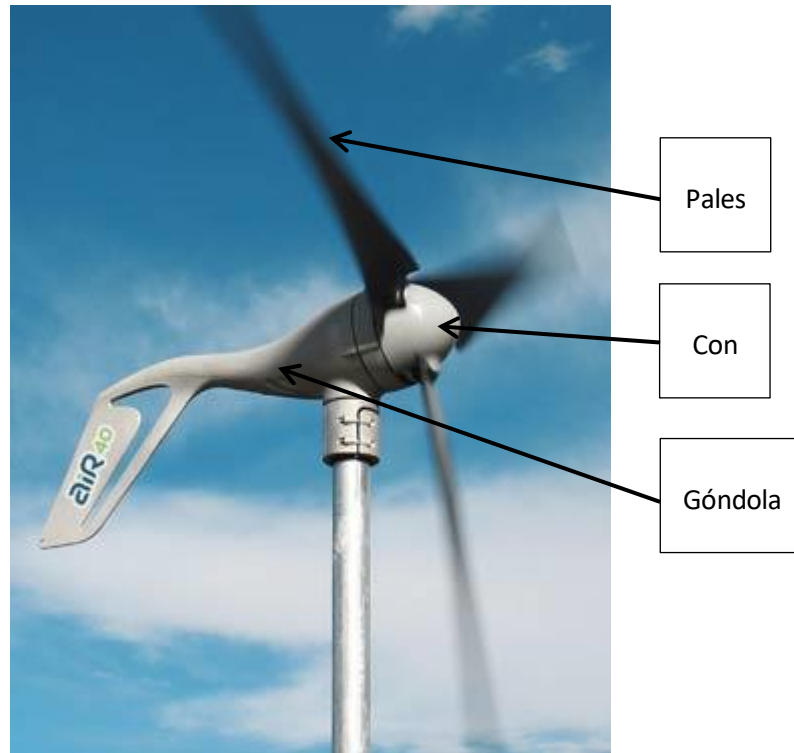
En un aerogenerador es produeixen diversos canvis d'energia: l'energia cinètica del vent que es converteix a energia mecànica per mitjà del rotor, i l'energia mecànica es converteix en energia elèctrica per mitjà del generador elèctric que aprofita el fenomen de la inducció per generar electricitat.



**Figura 2.1.** Parc eòlic de Rubió (Font: Josep Garcia)

Un aerogenerador com els que veiem als parcs eòlics està dotat d'una multitud d'elements per tal de garantir la màxima eficiència i complir les normatives que s'apliquen per a aquests aerogeneradors. En el nostre cas, el aerogenerador serà d'una mida molt més reduïda i el podem incloure dins la categoria de microturbina que solen ser utilitzades en sistemes aïllats per generar electricitat que posteriorment servirà per carregar unes bateries d'emmagatzematge. El generador elèctric que normalment utilitzen és d'imants permanents, i no solen comptar amb caixa multiplicadora entre l'eix del rotor de l'aerogenerador i el generador elèctric.

Habitualment es tracta de màquines d'eix horitzontal amb tres pales i diàmetres petits (entre 1 i 5 metres) que treballen a velocitats de rotació elevades i generalment variables.



**Figura 2.2.** Microturbina Air 40 utilitzada (Font: Primus Wind Power )

Els principals components en els quals està dividida una microturbina com la que s'utilitzarà en aquest treball són els següents:

- **Rotor:** la seva funció és captar l'energia cinètica del vent i transformar-la en energia mecànica de rotació, són el conjunt de components de l'aerogenerador que giren fora de la góndola. Està compost per les pales, el i el nas.
- **Pales:** són l'element de l'aerogenerador que per aprofitament aerodinàmic capturen l'energia del vent i transmeten la seva potència cap al eix al que estan connectades.
- **Eix:** és l'element d'unió entre les pales i el sistema de rotació.
- **Con o nas:** és la coberta metàl·lica amb forma cònica que s'encara al vent. Ha de tenir la forma aerodinàmica adequada per impedir la formació de turbulències.
- **Generador elèctric:** està connectat a l'eix i és l'encarregat de transformar la energia mecànica en energia elèctrica.



**Figura 2.3.** Generador elèctric tipus (Font: Google Imágenes )

- **Sistema de regulació i control:** Aquest sistema està format per un microprocessador connectat a un sistema electrònic de control de torsió. Té com a funció, mantenir la velocitat de rotació constant i limitar-la en cas d'altres velocitats del vent.
- **Góndola:** la góndola protegeix els elements interns del molí eòlic com el eix, el generador elèctric i el sistema de regulació . En el nostre cas te una forma aerodinàmica que permet a la microturbina orientar-se correctament. També incorpora les obertures necessàries per aconseguir una ventilació efectiva del generador i del regulador.

### 2.1.1. Tipus d'aerogeneradors

Hi ha moltes maneres de classificar un aerogenerador, ja sigui per potència, per utilització, per nombre de pales o per orientació de l'eix de rotació.

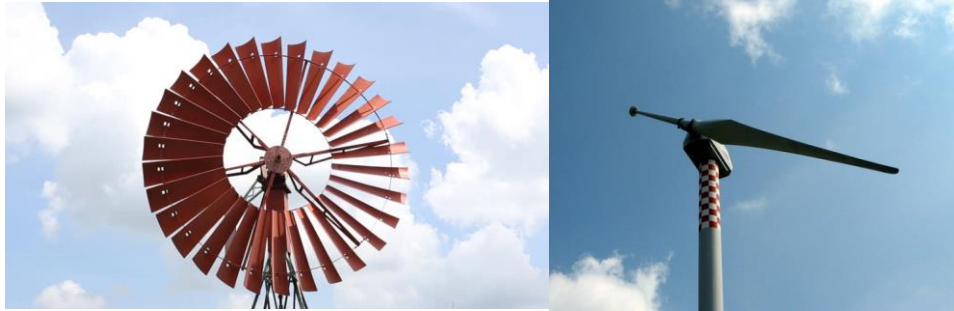
#### **Aerogeneradors d'eix horitzontal:**

Els generadors d'eix horitzontal són els més utilitzats i els més eficients en temes de conversió d'energia. Aquesta conversió es realitza mitjançant dispositius situats a la mateixa torre, com és el cas de les turbines eòliques destinades a la producció d'electricitat, on el generador elèctric està localitzat a la cúpula. Els més utilitzats són els denominats "màquines ràpides", amb pales de perfil aerodinàmic i gairebé exclusivament emprades per a la generació d'electricitat. Tenen rotors d'1 a 3 pales que poden estar situades a popa (sotavent) o a proa (sobrevent) de la cúpula.

Un altra tipus molt utilitzat sobretot en el passat són els rotors multipala "tipus americà" que s'usen exclusivament pel bombeig d'aigua. La seva elevada força d'arrencada i el seu relatiu baix cost els fa molt aptes per accionar bombes de pistó. S'estima que al món existeixen més d'1.000.000 de molins d'aquest tipus en operació.



En el cas de pales a sobrevent els sistemes d'orientació són imprescindibles, per això s'utilitzen cues d'orientació en el cas de petits aerogeneradors o servomecanismes d'orientació en el cas dels més grans.



**Figura 2.4.** Turbina multipala i monopala d'eix horitzontal (Font: Aerotrope)

### **Aerogeneradors de tipus vertical:**

Aquest tipus d'aerogeneradors tenen l'avantatge de no necessitar sistemes d'orientació. Degut a aquesta característica, no seria necessari dissenyar ni fabricar aquests mecanismes tan complexos d'adreçament i s'eliminarien els esforços als quals es veuen sotmeses les pales davant els canvis d'orientació del rotor. Per la seva disposició, fan possible la col·locació dels sistemes de conversió d'energia al terra, eliminant d'aquesta manera pesades càrregues a les torres, cosa que no es pot evitar en els d'eix horitzontal.

Dins dels aerogeneradors d'eix vertical existeixen dos dissenys bàsics: Savonius i Darrieus. El disseny Savonius destaca per la seva senzillesa pel que fa a tècniques de fabricació i al seu baix cost, encara que tot això afecta a la seva eficiència, fent que aquesta no sigui molt elevada. Aquest tipus de rotors solen utilitzar-se en aplicacions on es requereixen petites potències. Els rotors Darrieus cada vegada s'estan desenvolupant més per a la generació d'electricitat, arribant fins i tot a competir amb els d'eix horitzontal de pales aerodinàmiques. Tenen un parell d'arrencada molt baix cosa que els fa viables en llocs amb poc vent i lliuren potències altes per unitat de pes del rotor i per unitat de cost.



**Figura 2.5.** Aerogeneradors tipus Savionus (Font: archiexpo.es)

### 2.1.2. Model utilitzat

La microturbina que proposo utilitzar en aquest treball és el model Air 40 de la companyia Primus Wind Power, ja que penso que és el model que més s'adapta a les nostres necessitats i al nostre pressupost.

La sèrie de microturbines Air és la més venuda mundialment amb una mitjana de 135.000 unitats venudes per any en més de 120 països. L'Air40 és la millor microturbina de la sèrie i ens aporta avantatges com ara una major eficiència a través d'una àmplia gamma de velocitats del vent. Altres avantatges poden ser:

- Tecnologia de microprocessador avançada per a un rendiment superior i la protecció del fort vent sense fre mecànic.
- Pales dissenyades per a un funcionament més silenciós, durabilitat i la captació d'energia òptima en la majoria de les velocitats del vent.
- Disseny lleuger, simple i fàcil d'instal·lar; controlador integrat per a l'operació plug-and-play.
- Produeix 40 kWh d'energia per mes en una àmplia gamma de velocitats de vent.

## 2.2. Placa solar

L'energia solar fotovoltaica aprofita la radiació solar per tal de transformar-la directament en energia elèctrica mitjançant l'efecte fotovoltaic. Aquest efecte consisteix en l'emissió d'electrons per un material quan se li il·lumina amb radiació electromagnètica.

La quantitat total d'energia solar que il·lumina un àrea determinada per unitat de temps es diu irradiància i es mesura en watts per metre quadrat ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Aquesta energia normalment es mesura durant un període de temps, així que és freqüent parlar de irradiància total per hora, per dia o per mes. Atès que la irradiància canvia ràpidament al llarg del dia, és més útil calcular l'energia total incident per metre quadrat en un dia, ja que l'energia màxima que aconsegueix el sol al nivell del mar és d'uns  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . És habitual dividir per  $1000\text{W}/\text{m}^2$  l'energia total rebuda en un dia per obtenir el nombre d'hores de sol pic (HSP)<sup>1</sup>.

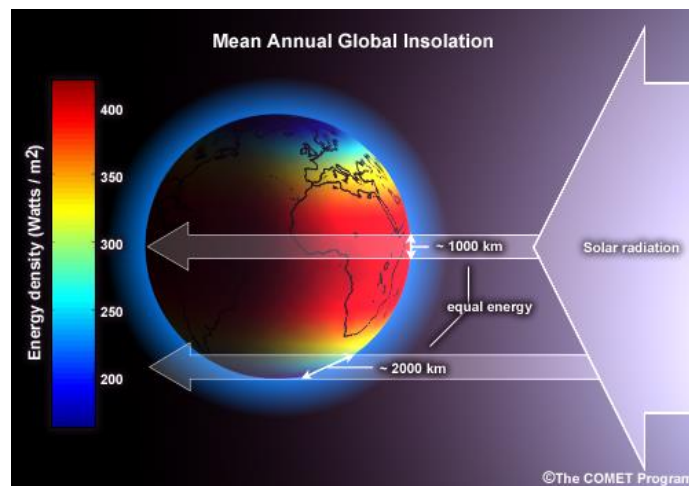


Figura 2.6. Irradiància mitjana anual segons latitud (Font: The Comet Program)

<sup>1</sup> UCAR COMMUNITY PROGRAMS. Consultat 18 de Juny de 2017 a <http://www.comet.ucar.edu/>

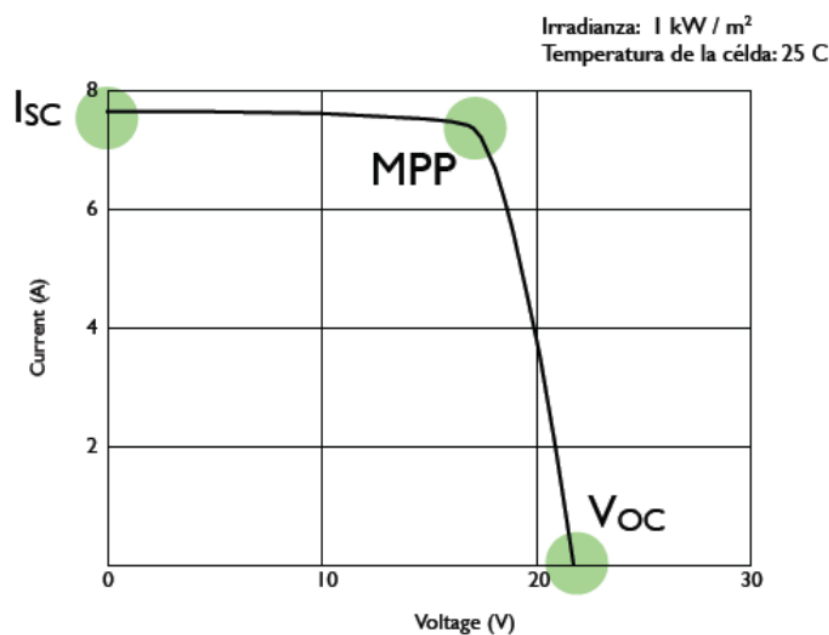
Un sistema fotovoltaic bàsic consta de cinc components principals: el Sol, el panell solar, el regulador, les bateries i el convertidor/inversor. Molts sistemes també inclouen un convertidor de voltatge per permetre l'ús de dispositius amb diferents demandes de voltatge.

Un panell solar està format per múltiples cel·les solars. Les cel·les estan connectades elèctricament per tal de proporcionar un determinat valor de corrent i voltatge. Cada cel·la proporcionarà uns 0.5V, per acumular un voltatge suficient com per carregar una bateria de 12V.

Els diferents tipus de mòduls que existeixen al mercat són:

- **Monocristal·lí:** més car, el més eficient.
- **Policristal·lí:** més barat, menys eficient.
- **Amorf:** el més barat, el menys eficient, el de vida útil més curta.
- **De pel·lícula prima:** molt car, flexible, baixa eficiència, per a usos especials.

La placa solar que s'utilitzarà serà la de tipus policristal·lí.



**Figura 2.7.** Corba intensitat/voltatge tipus d'una placa solar (Font: Grupoelektra.es)

A la Figura 2.7 s'observa la corba IV amb els següents paràmetres: **Isc** = Corrent de curtcircuit: és el corrent produït pel panell quan la càrrega té resistència zero (curtcircuit); **Voc** = Tensió de circuit obert: és el voltatge generat quan no hi ha càrrega (resistència infinita, circuit obert); **MPP** = Punt de Màxima Energia: és la combinació de voltatge i corrent que proporcionen la màxima energia (es

produeix a cert valor de resistència de la càrrega). En la pràctica, el punt d'operació és determinat pel voltatge de treball del banc de bateries<sup>1</sup>.

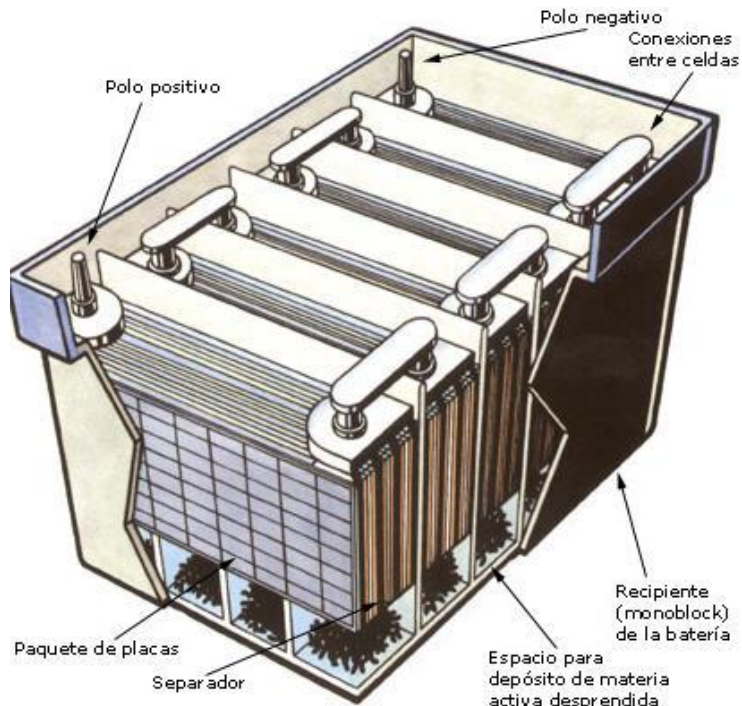
## 2.3. Bateria

El tipus de bateria que s'utilitzarà és la de Plom-Àcid. Habitualment solen ser de 6 i 12V i estan formades internament per cel·les de 2V.

Tenen molta capacitat de descàrrega durant un breu període de temps, la qual cosa les fa útils per a l'arrencada de vehicles de combustió. Estan formades per un dipòsit d'àcid sulfúric i en el seu interior unes plaques de plom disposades alternadament, vegeu Figura 2.8.

---

<sup>1</sup> Nelson, J. (2003). *The Physics of Solar Cells*. PUBLISHED BY IMPERIAL COLLEGE PRESS AND DISTRIBUTED BY WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING CO. <https://doi.org/10.1142/p276>



**Figura 2.8.** Representació d'una bateria plom-àcid (Font: Techno sun )

Les principals característiques d'aquestes bateries es poden apreciar observant els seus avantatges i desavantatges que presenta aquesta tecnologia.

#### Avantatges:

- Tecnologia totalment desenvolupada i comprovada.
- Alta tensió per cel·la (2V), la qual cosa permet obtenir altes tensions amb menys cel·les col·locades en sèrie.
- Molt bona capacitat per subministrar alts pics de corrent durant la seva descàrrega.
- La seva pèrdua mensual degut al cicle de càrrega-descàrrega és de les més baixes, aproximadament un 5%.
- Una eficiència per sobre del 80%.
- Fàcil reciclat.

#### Desavantatges:

- A causa de la utilització del plom com a material actiu presenten un elevat pes.
- Tenen una baixa energia específica, menor a un 30-50Wh/kg. Se sol usar per cobrir necessitats d'arrencada, il·luminació i ignició.
- Vida cíclica curta, entre 500 o 600 cicles de càrrega-descàrrega.
- No toleren càrrega ràpida i per aquest fet requereixen llargs períodes de temps per a la seva càrrega.

- Poca resistència davant sobrecàrregues i descàrregues accidentals.
- Són molt vulnerables a la corrosió dels seus elèctrodes.
- Manteniment periòdic.

Les recerques que es duen a terme en l'actualitat sobre aquestes bateries estan enfocades a aconseguir una millora de les seves prestacions en relació a la reducció de la necessitat de manteniment, augment de la vida útil, disminució de dimensions/pes i reducció del temps de recàrrega.

## 2.4. Cablejat

Per al cablejat s'utilitzaran cables amb recobriments per a exteriors que, d'acord amb el Reglament Tècnic de Baixa Tensió han de complir els requisits indicats a la següent taula:

Característica	Codi	Grau
<b>Resistència a la compressió</b>	4	Forta
<b>Resistència al impacte</b>	3	Mitja
<b>Temperatura mínima d'instal·lació i servei</b>	2	-5°C
<b>Temperatura màxima d'instal·lació i servei</b>	1	+60°C
<b>Resistència al corbat</b>	4	Flexible
<b>Propietats elèctriques</b>	½	Continuïtat/aïllat
<b>Resistència a la penetració d'objectes sòlids</b>	4	Contra objectes D > 1mm
<b>Resistència a la penetració del aigua</b>	2	Protegit contra les gotes d'aigua caient verticalment quan el sistema de cables esta inclinat 15°

<b>Resistència a la corrosió de tubs metàl·lics i compostos</b>	2	Protecció interior mitjana i exterior elevada
<b>Resistència a la tracció</b>	2	Lleugera
<b>Resistència a la propagació de la flama</b>	1	No propagador
<b>Resistència a les càrregues suspeses</b>	2	Lleugera

**Taula 2.1.** Característiques necessàries per a cables d'exterior segons RBT(Font: iet.es)

El tipus de cablejat que més bé s'adaptarà a les condicions d'exterior descrites és mostra a la següent taula:

TIPUS DE CABLEJAT RVK	
<b>Conductor</b>	Coure electrolític flexible (Classe V) segons UNE-EN 60228, EN 60228 i IEC 60228
<b>Aïllament</b>	Polietilè reticulat (XLPE) tipus DIX 3 segons UNEIX 21123, HD 603 S1 i IEC 60502-1
<b>Coberta</b>	PVC tipus DMV-18 segons UNEIX 21123, HD 603 S1 i IEC 60502
<b>Tensió nominal</b>	0,6/1 kV
<b>Tensió d'assaig</b>	3.500 V C.A.
<b>Temperatura màxima</b>	90 °C
<b>Altres característiques</b>	Color segons UNEIX 21089 i HD 308 S2 (marcats amb colors per menys de cinc conductors), UNE-EN 50334 i EN 50334 (marcats per inscripció per més de cinc conductors)



	<p>No propagació de la flama segons UNE-EN 60332-1-2, EN 60332-1-2 i IEC 60332-1-2</p> <p>L'ús de polietilè reticulat (XLPE) admet una major densitat de corrent, a igualtat de secció, respecte a l'aïllament amb PVC</p> <p>Classificació CPR segons EN 50575</p>
--	---

**Taula 2.2.** Característiques cablejat RVK (Font: cablesrct.com)

### 3. Torre de suport portàtil

#### 3.1. Disseny de la torre de suport

Per tal de tenir una idea prèvia del disseny de la torre he observat models similars que existeixen al mercat tot i que degut a la escassa oferta d'aquest tipus d'estructures no he pogut trobar un model que integri el molí eòlic i la placa solar en la mateixa estructura.

El prototip de la Figura 3.1 es tracta d'una torre dissenyada per Marcos Madia, Sergio Ohashi i Juan Manuel Pantano de la Universitat de Buenos Aires. Es tracta d'una torre amb molí eòlic dissenyada per donar un suport d'energia elèctrica durant les acampades en autocaravana o en situacions d'emergència. Els materials amb els quals estarà construïda són fibra de carboni i alumini. Encara no se'n sap el preu.



**Figura 3.1.** Prototip torre amb aerogenerador (Font: ecoinventos.com)

El que podem veure en la següent figura és el model *SolarStick Lite*, un sistema que permet transportar i muntar amb facilitat dues plaques solars de 150W i 12V cada una. Aquest model està pensat per a tot tipus de situacions i el seu preu és d'uns 5.500\$. Per aquest model també utilitzen una base de tres potes per a la seva subjecció amb el terra. Crec oportú incorporar aquest tipus de base per a la fabricació de la torre.



**Figura 3.2.** Model SolarStick Lite (Font: altern-energy.com )

Degut a que no existeix cap dispositiu similar al mercat he realitzat un disseny previ utilitzant SolidWorks, un programa de disseny 3D basat en CAD en el qual ja tinc una experiència prèvia adquirida en els cursos de la carrera. Així mateix el programa ens permetrà obtenir les tensions produïdes a l'estructura com veurem més endavant.

Les restriccions en les mides de la torre i la base són 1350mm per la llargada màxima de cada peça i 2m<sup>3</sup> d'espai màxim que pot ocupar l'estructura completa comptant amb les bateries i l'equipament electrònic. Les restriccions de mida són degut a que ens hem plantejat poder transportar l'estructura dins d'una furgoneta comercial petita. La torre consistirà en tres elements principals com són la base, la primera secció elevadora, que tindrà el suport per a la placa solar, i la segona secció elevadora, que tindrà el suport per el molí. Segons les restriccions de mida comentades anteriorment, prenent com a altura de la base 900mm i maximitzant la mida de les dues seccions elevadores tenim una altura aproximada de la torre de 3600mm.

Com a material hem decidit utilitzar alumini per tal de minimitzar el pes de l'estructura i fer-la més fàcil de muntar.

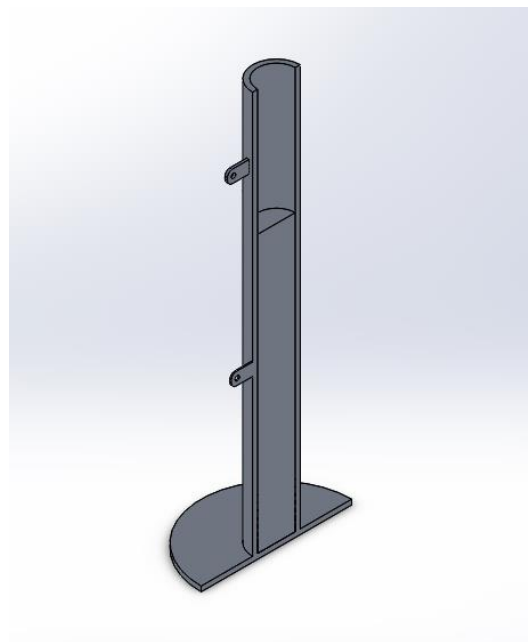
### 3.1.1. Disseny de la base de suport

La base de l'estructura tindrà forma de tríode pel fet de tenir una major estabilitat davant els cops de vent durant el muntatge. Per tal de fixar la posició de les tres potes de suport he optat per introduir-hi tres brides que es connectaran al cilindre principal mitjançant unes platines. Aquestes brides ens permetran regular la inclinació de les potes segons el terreny on es munti.

Com a sistema d'unió dels elements s'utilitzaran unes pestanyes foradades soldades als tubs per dins de les quals hi haurà un cargol i femella helicoidals.

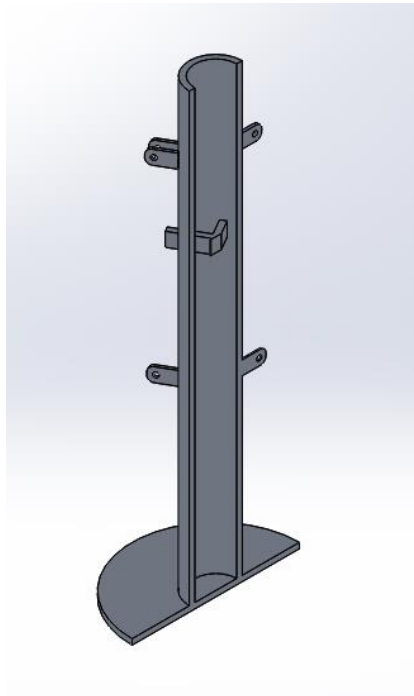
Una part de l'estructura que m'ha costat idear és l'element que fixa el següent tram per tal que es suporti en una certa alçada i no penetri dins del tub de la base.

Una primera idea va ser fer el tub massís fins la alçada desitjada de manera que el següent tram encaixés dins del tub tal i com es mostra a la Figura 3.3. Aquesta idea va ser ràpidament contrastada degut al enorme pes que suposava per a l'estructura.



**Figura 3.3.** Vista seccionada tub base amb suport per al següent tram massís figura (Font pròpia )

La segona fase del disseny va consistir en idear una “creueta” formada per trams d'alumini o acer rectangulars que anessin soldats dins del tub. Aquest disseny fa que l'estructura sigui lleugera però el procés de fabricació es complex. Per tal de poder soldar aquesta creueta dins del tub, és necessari tallar el tub per on es vulgui posar la creueta, soldar-la i després soldar el tram restant del tub.

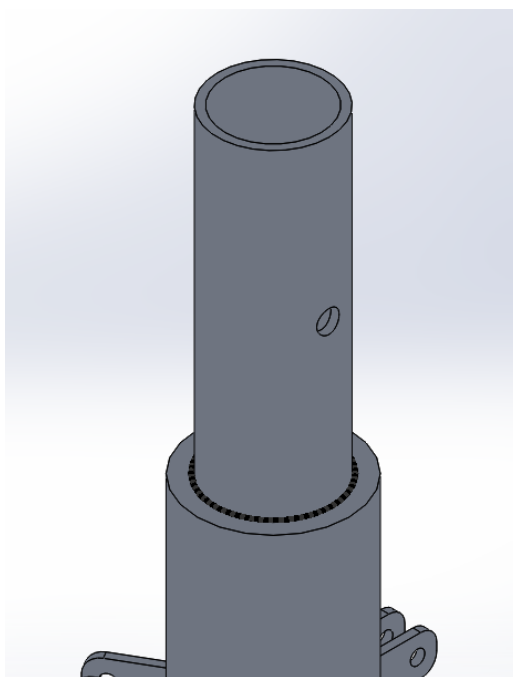


**Figura 3.4.** Vista seccionada tub base amb suport per al següent tram format per una “creueta soldada”  
(Font pròpia)

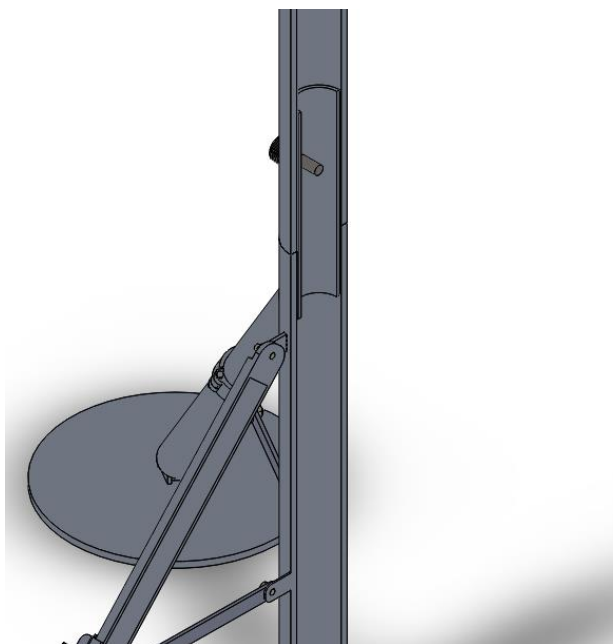
Finalment la solució escollida ha sigut formar un encaix amb el mateix cilindre que forma la base i un altre tub soldat dins d'aquest de manera que el següent tram quedi recolzat sobre del mateix tub exterior com es mostra a la Figura 3.7. Per a realitzar aquesta operació només cal un cordó de soldadura fàcil de realitzar, el pes és reduït i per tant, crec que és la millor solució per a formar l'estructura.



**Figura 3.5.** Vista seccionada tub base amb suport per al següent tram definitiu (Font pròpia)



**Figura 3.6.** Detall soldadura (Font pròpia)



**Figura 3.7.** Vista seccionada funcionament del encaix (Font pròpia)

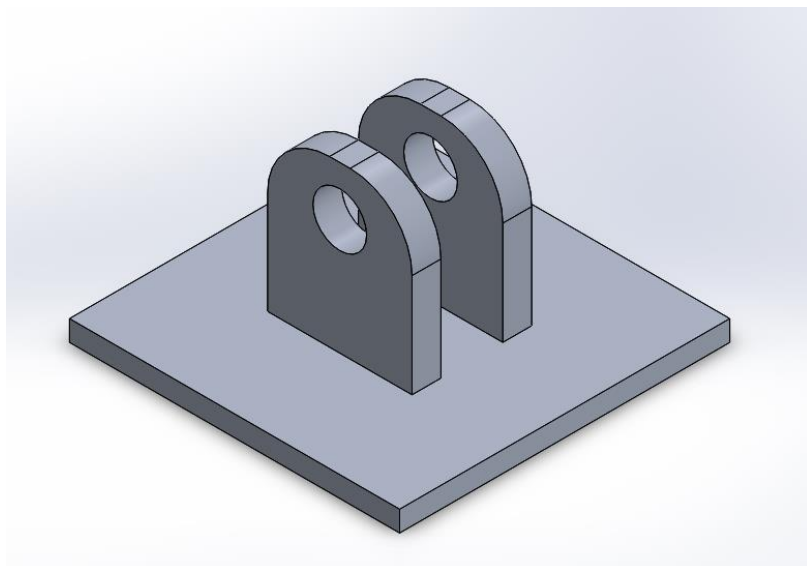


**Figura 3.8.** Vista fotorealista de la base completa (Font pròpia)

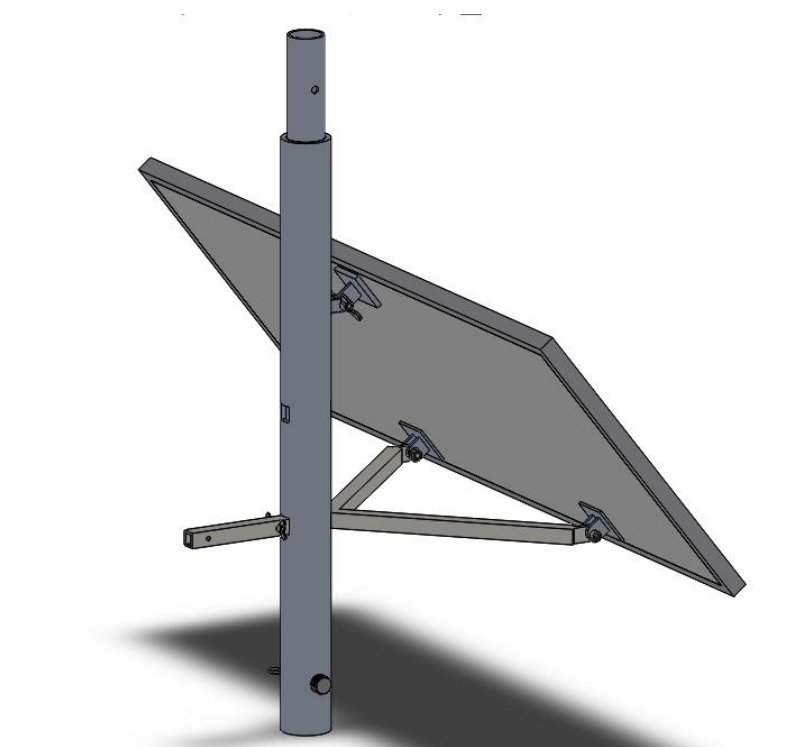
### 3.1.2. Disseny de la primera secció elevadora

La primera secció consistirà en un cilindre dotat amb diversos elements que serviran d'ancoratge per a la placa solar i de fixació a la base i secció següent. Com a fixació per al següent tram he optat per al mateix sistema proposat a la base.

Per tal de maximitzar l'eficiència de la placa solar aquesta hauria de tenir dues posicions d'inclinació segons la posició del sol a l'estiu o a l'hivern, el càlcul de la inclinació necessària per a cada període està calculat a l'apartat 6. *Càlcul de la inclinació òptima per a la placa solar.* Per tal de resoldre-ho he ideat un sistema de suport en forma de "Y" que s'introduirà dins del cilindre en dues posicions possibles tal com mostra la Figura 3.10. Com que el client triarà la placa solar que més l'hi convingui aquesta necessitarà un element unificador al qual se l'hi pugui acoblar el tub en forma de "Y". Aquest element està format per unes pestanyes foradades similars a les utilitzades en la base que el client haurà de fixar a la placa per mitjà de soldadura o cola d'alta resistència. Al manual d'instal·lació s'explica amb detall el posicionament i la metodologia de fixació.

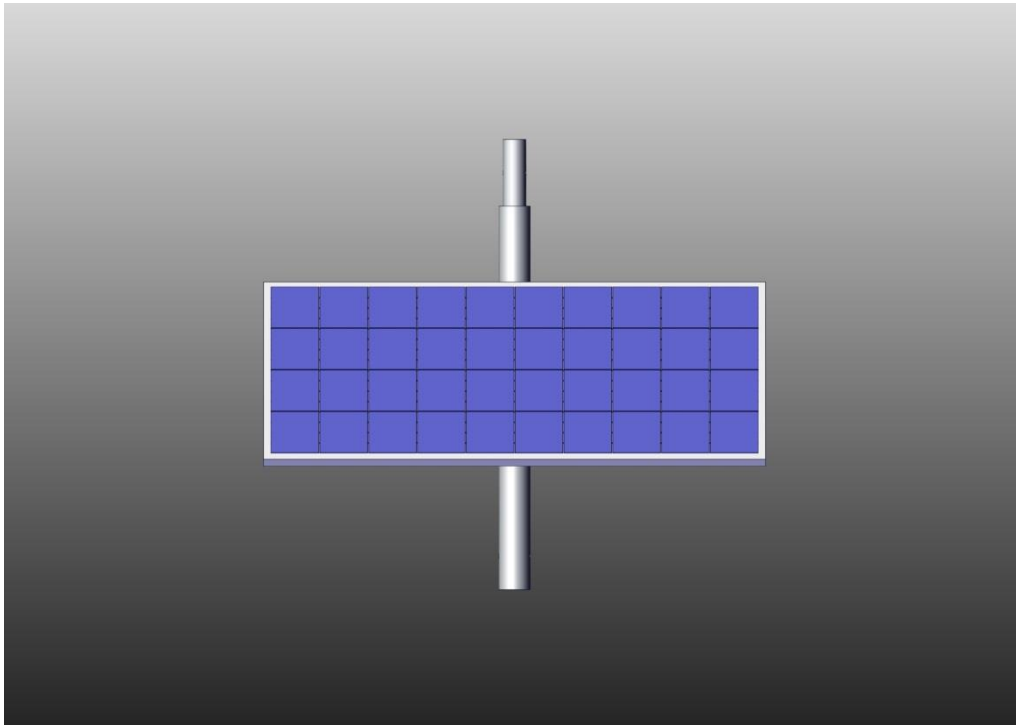


**Figura 3.9.** Pestanyes foradades (Font pròpia)



**Figura 3.10.** Primer tram amb la placa solar (Font pròpia)





**Figura 3.11.** Vista frontal fotorealista del primer tram (Font pròpia)

### 3.1.3. Disseny de la segona secció elevadora

La primera idea sorgida va ser fer aquesta secció amb una excentricitat per tal de compensar el pes de la placa amb el pes del molí. Més endavant en el estudi s'ha vist que aquesta excentricitat només ens aporta una major estabilitat en situacions on la velocitat del vent sigui propera a zero, una situació que, degut a l'utilitzat de l'estructura, es donarà en molt poques ocasions. Finalment, degut al major cost de fer-la amb aquesta excentricitat, s'ha optat per fer-la totalment recta.



**Figura 3.12.** Vista lateral del segon tram amb excentricitat (Font pròpia)



**Figura 3.13.** Vista frontal fotorealista del segon tram (Font pròpia)

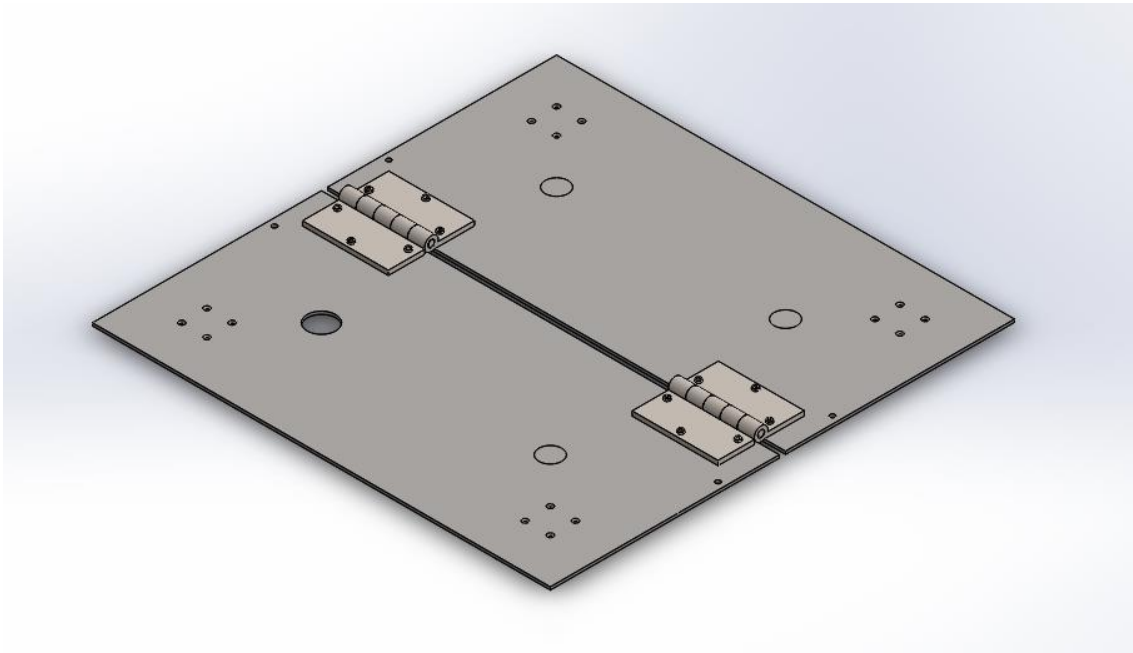
## 3.2. Disseny de la plataforma d'aterratge

Per a la plataforma d'aterratge he pensat en un disseny tipus taula ja que aquest format permet un fàcil transport de la plataforma al mateix temps que proporcionarà una cobertura climatològica per els elements electrònics i la bateria.

### 3.2.1. Disseny de la planxa

La planxa és l'element que farà de suport al dron quan aquest aterri, haurà de tenir la rigidesa suficient per evitar el vinclament d'aquesta quan el dron aterri. Per tal de fer-la portàtil he optat per dividir-la en dues parts i adjuntar-la mitjançant dues frontisses.

A més a més, aquesta compta amb diversos forats que juntament amb cargols i femelles serviran d'ancoratge per a la resta d'elements.



**Figura 3.14.** Vista de les dues parts de la plataforma d'aterratge (Font pròpia)

### 3.2.2. Disseny de les potes

La primera idea que vaig tenir en el disseny de les potes va ser fer-les similars a una crossa d'alumini. D'aquesta manera les potes es podrien extreure amb facilitat i amb una sèrie de forats al suport serien regulables. Malgrat això, per tal que el dron aterri amb facilitat la plataforma ha d'estar perfectament anivellada i la distància entre forats podria ser massa gran per complir amb la precisió necessària.



**Figura 3.15.** Secció regulable d'una crossa(Font: Alquileres Ortopédicos )

L'alternativa té l'inconvenient que és més costosa de muntar i desmuntar però compta amb l'avantatge de tenir una precisió mil·limètrica, a més de ser més senzilla i barata de fabricar. Aquesta alternativa consistirà en un assemblatge format per una base, que serà circular i d'un diàmetre prou gran perquè s'hi pugui afegir pes a sobre en cas de forts vents, la quantitat de pes necessària és detalla més endavant. Aquesta base tindrà una rosca interior on s'hi collarà una pota completament roscada. Per l'altre extrem tindrem un suport fixe a la planxa de la plataforma i una femella amb papallona per tal de poder fixar-la sense necessitat d'eines.



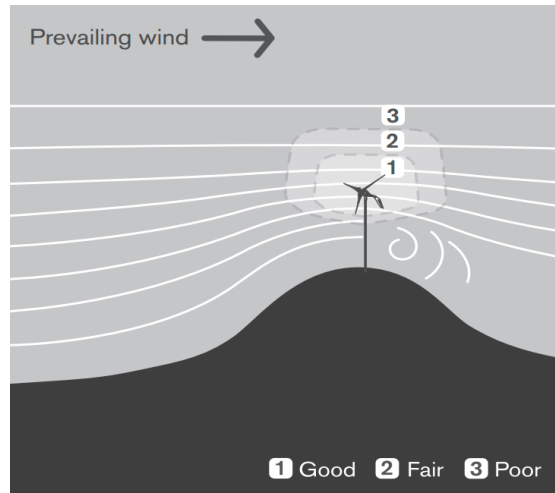
**Figura 3.16.** Disseny de pota utilitzat (Font: Meca Metal )

### 3.3. Zona d'emplaçament òptima

L'energia del vent és l'energia cinètica de la massa d'aire en moviment. La funció d'una turbina eòlica és convertir part d'aquesta energia cinètica en energia mecànica que després es pot convertir en electricitat. La fórmula que ens permet mesurar la quantitat d'energia que generarà la turbina eòlica és funció del cub de la velocitat del vent. Això vol dir bàsicament que un augment en la velocitat del vent del 10% resulta en un creixement d'aproximadament 30% de la potència disponible del vent, fet que es traduirà en el rendiment de la turbina. Així doncs, l'emplaçament que triem en el moment de muntar la torre serà decisiu en la potència generada per la turbina.

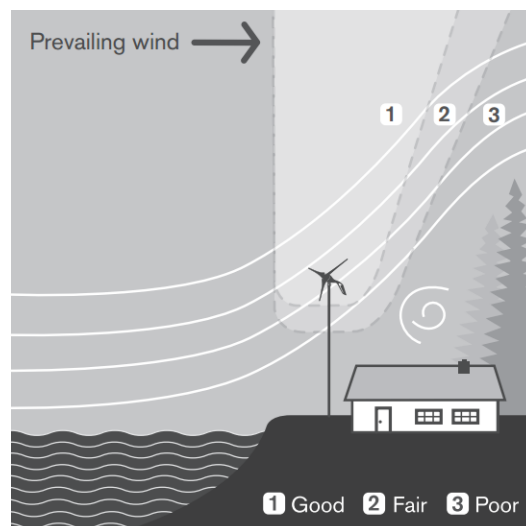
Per regla general, el millor lloc on podrem muntar la torre és damunt d'un turó o muntanya i el més allunyada possible d'obstruccions com ara cases, edificis, arbres, murs, etc. Damunt d'un petit turó

o muntanya és el millor emplaçament ja que a mesura que el vent passa per damunt, el vent es comprimeix i augmenta la seva velocitat a menor altura.



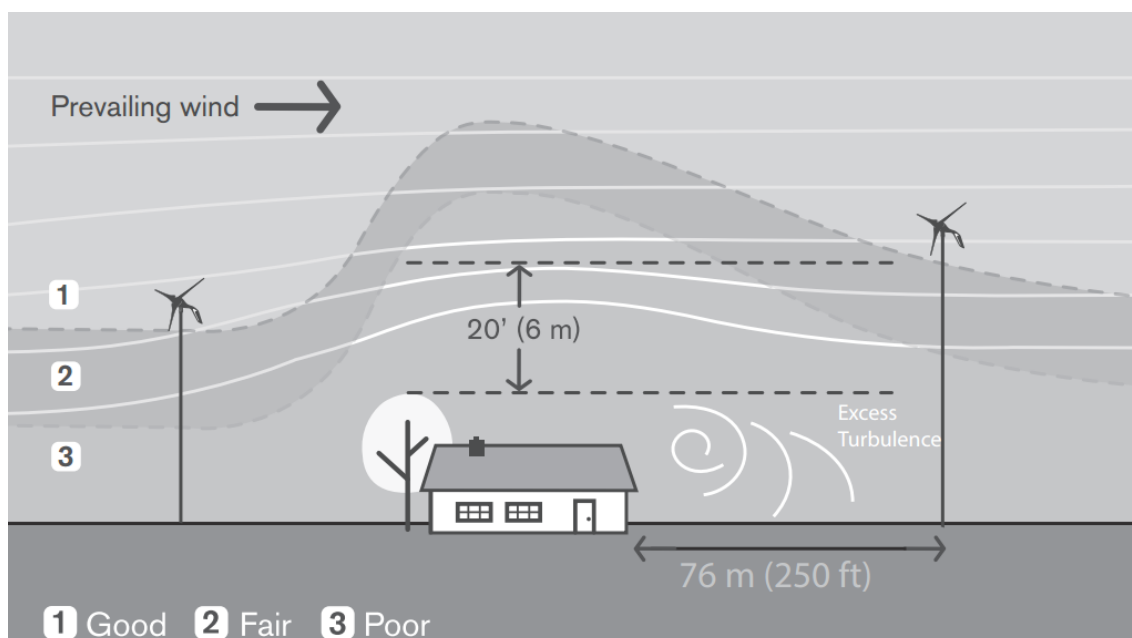
**Figura 3.17.** Esquema del comportament del vent sobre turons (Font: Manual d'usuari Primus AIR)

Una bona idea per tal d'emplaçar correctament la torre és realitzar un seguiment de la direcció dels vents ja que aquesta pot ser crucial si es munta la torre a prop d'una platja, per exemple. Si la direcció del vent prové del mar i darrere hi tenim obstacles com edificis o turons, l'emplaçament no serà l'adequat ja que tindrem un fenomen de compressió al cim del turó o edifici com el que s'ha explicat abans que farà que la velocitat del vent a la base es redueixi. D'altra manera si els vents bufen cap al mar tindrem una molt bona ubicació ja que habitualment la zona marítima està lliure d'obstacles i tindrem una bona velocitat a altures reduïdes.



**Figura 3.18.** Esquema del comportament del vent sobre turons (Font: Manual d'usuari Primus AIR)

Degut a que habitualment s'emplaçarà la torre en una zona plana, es recomana muntar la torre almenys a 76m de distància de qualsevol obstacle que es situï en la direcció del vent per tal d'evitar turbulències innecessàries que provocarien un menor rendiment de la turbina eòlica i un major desgast dels components.



**Figura 3.19.** Esquema de les turbulències generades per un obstacle com una casa (Font: Manual d'usuari Primus AIR)

Pel que fa a la direcció de la torre, l'orientació més adequada serà aquella en què el mòdul solar apunti cap al sud geogràfic. Per determinar de forma exacta aquesta posició es pot utilitzar una brúixola o bé determinar-la segons l'hora del dia, ja que el sud correspon amb les 12 del migdia de l'hora solar. No cal confondre l'hora solar amb l'hora oficial, la qual s'utilitza als diferents països i que es basa en els meridians. Les dotze del migdia hora solar a Espanya es correspon amb les 13:00 hores. Mentre que d'abril a setembre amb el canvi d'hora, la diferència serà major i correspondrà amb les 14:00 hores. Cal vigilar també que cap objecte faci ombra a la placa solar.

### 3.4. Tirants i àncores de fixació

Com es veurà en un estudi posterior, per tal de garantir la màxima seguretat estructural de la torre serà necessari l'ús de tres vents amb tensors i àncores de fixació. És el mètode de fixació més adient per aquest cas ja que l'alternativa no és altre que l'ús de pesats blocs de formigó fixats a la base, fet que complicaria en gran mesura la instal·lació ràpida i senzilla que és pretén amb el nostre model.

El material necessari per a l'arriostament de la torre consistirà en:

- **Cable d'acer:** El diàmetre i longitud dels cables seran estudiats més endavant ja que dependran de les tensions que es produeixin a la torre. El cable haurà d'estar tractat amb galvanitzat per tal d'evitar la corrosió i tenir els extrems en forma de "O" per tal de passar-hi els mosquetons.
- **Mosquetons:** Permetran fixar amb facilitat els tirants a la torre i les àncores.
- **Tensor d'ullet:** Permetran tensar cada cable per tal de garantir una màxima estabilitat.



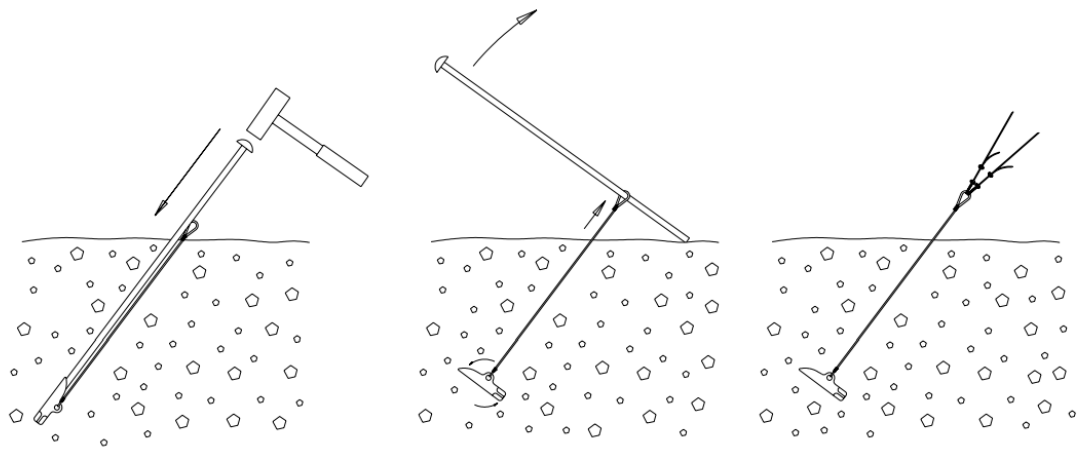
Figura 3.20. Tensors ullet (Font: amazon.es)

- **Àncora:** Aquest element ha sigut el més difícil de determinar degut a que les opcions d'ancoratge que no depenguin d'elements externs com ara arbres o altres elements estructurals i que a la vegada siguin portables són veritablement poques. Malgrat això he trobat un tipus d'ancoratge, extensament utilitzat a Amèrica del Nord i Canadà anomenat ancoratge "Duckbill".



Figura 3.21. Àncora tipus duckbill (Font: earthanchor.com)

Les ancores Duckbill consisteixen en un dispositiu de forma cilíndrica lligat al extrem d'un cable que és conduït al sòl usant una vareta d'acer i un martell. Aquesta barra s'adapta a l'àncora i la manté recta mentre va adquirint profunditat. Una vegada que l'àncora estigui prou profunda al sòl, la vareta conductora es retira i es tira fortament del cable per "fixar" l'àncora. A mesura que es tibia el cable, l'àncora gira sobre si mateixa situant-se perpendicularment al forat d'inserció, fet que fa que quedi fixada. La força que podrà suportar l'àncora depèn del model i del terreny, oscil·lant entre els 1,3kN i els 22,2kN. Aquest tipus d'ancoratge no es pot utilitzar en zones pavimentades ni sobre roca i per tal d'extreure l'àncora serà necessari excavar fins a la profunditat on hagi estat fixada i extreure-la manualment.



**Figura 3.22.** Procés de fixació d'una àncora Duckbill (Font: primuswindpower.com)

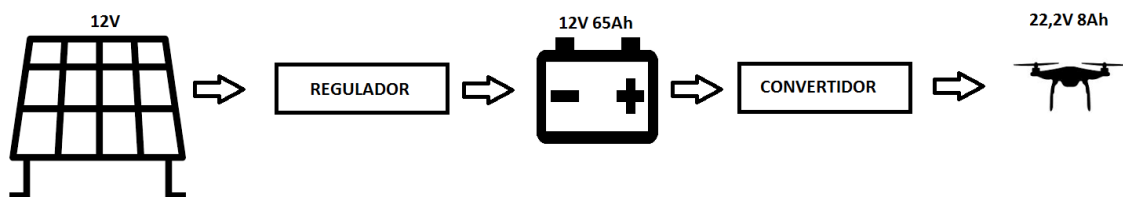


## 4. Energia mitjana obtinguda

### 4.1. Energia obtinguda mitjançant la placa solar

El regulador s'encarrega de controlar l'entrada a les bateries de l'energia generada en els panells solars. El regulador permet d'una banda, allargar la vida de la bateria i per l'altre, obtenir informació i paràmetres del funcionament de la instal·lació. Existeixen 2 tipus de reguladors de càrrega, el PWM o convencional, i el MPPT. L'ús d'un o un altre dependrà del tipus de placa solar que utilitzem. Si es tracta de plaques solars de 36 o 72 cèl·lules com és en aquest cas serà suficient usar un regulador PWM ja que aquestes plaques tenen un voltatge en el punt de màxima potència suficientment alt per alimentar la bateria.

El convertidor de DC-DC és un circuit electrònic o dispositiu electromecànic que converteix una font de corrent continu (DC) d'un nivell de tensió a un altre.



**Figura 4.1.** Esquema elèctric de l'estació (Font pròpia)

Cada element de la instal·lació elèctrica que hem vist comporta unes pèrdues que es tradueixen en una reducció del rendiment. Aquestes pèrdues es poden aproximar a:

#### Pèrdues en la càrrega:

- Pèrdues degudes a la potència nominal, brutícia i pols i cablejat en corrent contínua: 11%
- Pèrdues ocasionades degut a la temperatura d'operació de la cèl·lula fotovoltaica: 10,8%
- Pèrdues al regulador: 3%
- Pèrdues durant la càrrega de la bateria: 3%
- Altres pèrdues com ombrejat i desconnexió: 1,8%

Rendiment de la instal·lació de càrrega, PR = 70,3%

**Pèrdues en la descàrrega:**

- Pèrdues durant la descàrrega de la bateria: 3%
- Pèrdues en el cablejat DC: 3%
- Pèrdues en el convertidor: 6%
- Pèrdues durant la càrrega de la bateria del dron: 3%

Rendiment de la instal·lació de descàrrega, PR=85%

Ara caldrà fer una aproximació de l'energia necessària per carregar un dron per tal d'aproximar el nombre de bateries que es podran carregar diàriament.

El dron funciona amb una bateria de 8Ah i 22,2V la qual és equivalent a 177,6Wh. Si tenim en compte les pèrdues durant la descàrrega de la bateria de la base i la càrrega de la bateria del dron equivalen a una energia de 204,24Wh per tal de carregar-lo.

Per altra banda la placa solar té les següents característiques:

**PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\***

		SW 150
Maximum power	$P_{max}$	150 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	22.5 V
Maximum power point voltage	$U_{mpp}$	18.3 V
Short circuit current	$I_{sc}$	8.81 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	8.27 A

Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

**Figura 4.2.** Característiques placa solar ( Font: generator.co.il)

Per a determinar la potència mitjana que obtindrem mitjançant la placa solar s'utilitzarà una web interactiva proporcionada per l'*Institute for Energy and Transport (IET)* conformat dins del marc de la Comissió Europea (CE). L'eina s'anomena *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*.

Degut a que la pàgina només ens permet introduir una mateixa inclinació per any realitzarem els càlculs amb les dues posicions i seleccionarem el valor energètic més alt per a cada mes. Realitzant el càlcul d'aquesta manera ens permetrà veure també en quins mesos l'operari haurà de posicionar la placa amb menor inclinació (hivern) i amb quins l'haurà de posar en la posició de més inclinació (estiu).

He realitzat els càlculs amb les dues inclinacions proposades en el punt 6. *Càlcul de la inclinació òptima per a la placa solar* suposant un emmagatzematge infinit d'energia elèctrica. La localització proposada és un punt remot a les muntanyes de l'Ordal, una possible ubicació per a la nostra base.



Figura 4.3. Localització proposada al PVGIS (Font: Google Maps)

Energia diària amb inclinació 51.4°	
Mes	Energia diària (Wh/dia)
Gener	561
Febrer	601
Març	655
Abril	599
Maig	604
Juny	585
Juliol	607
Agost	648
Setembre	619
Octubre	608
Novembre	556
Desembre	535

Energia diària amb inclinació 21.4°	
Mes	Energia produïda (Wh/dia)
Gener	402
Febrer	476
Març	595
Abril	641
Maig	730
Juny	751
Juliol	758
Agost	733
Setembre	606
Octubre	512
Novembre	410
Desembre	374

Energia diària amb inclinació combinada	
Mes	Energia diària (Wh/dia)
Gener	561
Febrer	601
Març	655
Abril	641
Maig	730
Juny	751
Juliol	758
Agost	733
Setembre	619
Octubre	608
Novembre	556
Desembre	535

Taula 4.1. Taules de producció d'energia amb la placa solar segons inclinació i mes (Font: PVGIS)

Podem veure com per tal d'obtenir la major quantitat d'energia possible, l'operari haurà de posicionar la placa solar a 51,4° durant els mesos de setembre a març, la resta de mesos l'haurà de posicionar a 21,4°.

## 4.2. Energia obtinguda mitjançant el molí eòlic

Realitzar un càlcul precís de l'energia obtinguda mitjançant el molí eòlic és una tasca més complicada degut a la aleatorietat dels factors que hi intervenen com ara les ràfegues i direcció de vent, i el posicionament del molí com s'ha explicat al punt 4.3. *Zona d'emplaçament òptima*.

Malgrat això es pot fer una aproximació de l'energia obtinguda mitjançant la velocitat mitjana del vent obtinguda en les diverses estacions meteorològiques de Catalunya, proporcionada per l'IDESCAT (Institut d'Estadística de Catalunya).

	Estacions	Altitud (m)	Velocitat mitjana (m/s)	Direcció dominant
Alt Camp	Vila-rodon	287	2,8	N
Alt Empordà	Roses	24	3,0	N
Alt Penedès	la Granada (2)	240	1,8	NE
Alt Urgell	la Seu d'Urgell	849	1,6	SW
Alta Ribagorça	el Pont de Suert	823	1,1	N
Anoia	els Hostalets de Pierola	316	2,3	NW
Aran	Vielha e Mijaran	1002	1,6	S
Bages	Sant Salvador de Guardiola	349	1,0	S
Baix Camp	Vinyols i els Arcs (2)	29	1,5	NW
Baix Ebre	el Perelló	179	4,3	N
Baix Empordà	la Bisbal d'Empordà	29	1,9	S
Baix Llobregat	el Prat de Llobregat	8	2,9	NW
Baix Penedès	el Vendrell	59	2,3	N
Barcelonès	Barcelona - el Raval	33	2,1	SW
Berguedà	la Quar	873	1,4	SW
Cerdanya	Das	1097	2,5	E
Conca de Barberà	l'Espluga de Francolí	446	2,7	W
Garraf	Canyelles	148	1,6	S
Garrigues	la Granadella (2)	505	2,2	S
Garrotxa	Olot (3)	433	:	:
Gironès	Girona	72	1,3	S
Maresme	Cabrils	81	2,1	NW
Montsià	Amposta	3	3,4	NW
Noguera	Vallfogona de Balaguer (2)	238	1,3	N
Osona	Gurb (2)	509	1,1	SW
Pallars Jussà	la Pobla de Segur (4)	508	:	:
Pallars Sobirà	Sort	679,0	:	:
Pla d'Urgell	Mollerussa (2)	247	1,4	W
Pla de l'Estany	Banyoles	176	2,0	NW
Priorat	Falset	359	2,6	E
Ribera d'Ebre	Vinebre	53	2,1	SE
Ripollès	Sant Pau de Segúries	852	1,2	SW
Segarra	Cervera	554	2,7	W
Segrià	Raimat	286	2,7	W
Selva	Anglès	150	1,3	W
Solsonès	Pinós	659	2,3	W
Tarragonès	Tarragona - Complex Educatiu	5	2,3	N
Terra Alta	Horta de St. Joan	515	2,5	SW
Urgell	Tàrraga	427	2,9	W
Vallès Occidental	Sabadell - Parc Agrari	258	2,1	W

**Taula 4.2.** Taula de velocitat i direcció dominants del vent a diverses estacions meteorològiques de catalunya (Font: IDESCAT)

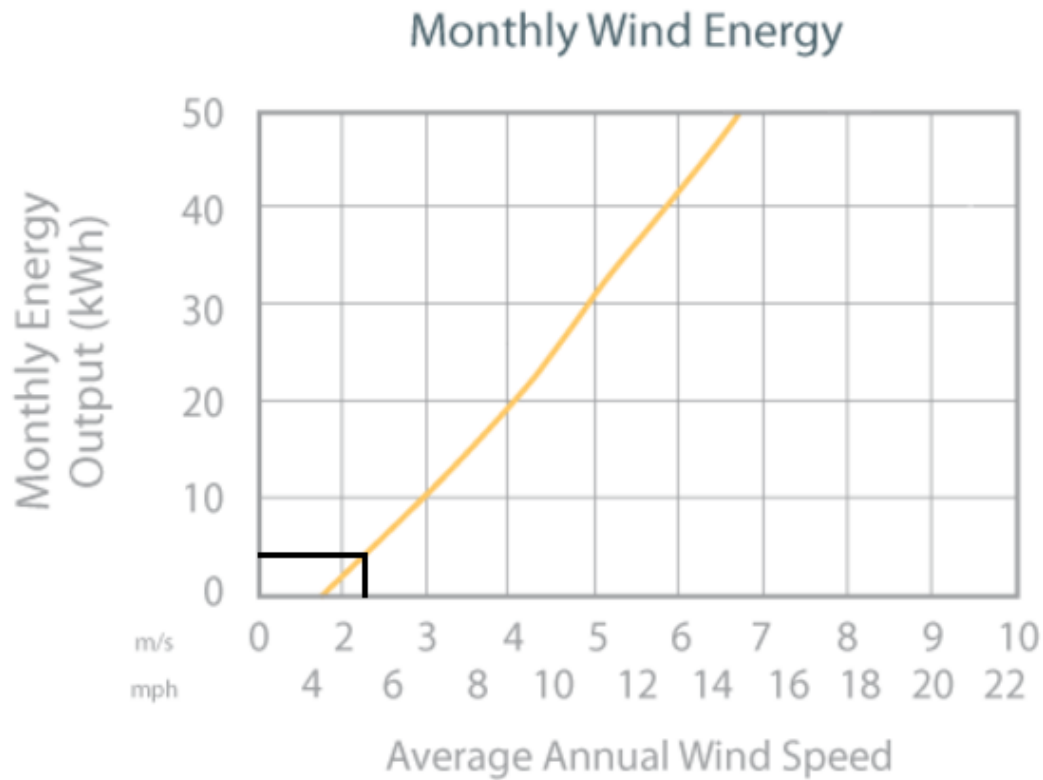
Introduint la taula a l'Excel s'obté la velocitat mitjana aproximada del vent a Catalunya, amb el resultat de 2,11 m/s. A la pagina d'IDESCAT s'indica que les mesures han estat realitzades a 2m del sòl, mentre que el molí el situarem a 3,7m d'alçada. Per tal d'aproximar la velocitat del vent a la alçada del molí utilitzarem l'equació del perfil de l'aire amb l'alçada:

$$V = V_o \left( \frac{h}{h_o} \right)^n \quad (\text{Eq 5.1})$$

On:

- V és la velocitat del vent a l'altura desitjada (m/s).
- $V_o$  és la velocitat del vent a 2m (m/s).
- h és l'alçada del molí (m).
- $h_o$  és l'alçada de la mesura d' $V_o$  (m/s).
- n és un factor adimensional que aproximem a 0,14 per a un terreny amb arbustos i petits obstacles

Si s'introdueixen les dades a la equació la velocitat de l'aire mitjana anual a l'alçada del molí es de 2,30m/s. Amb aquesta dada ja es pot calcular l'energia aproximada (KWh) que entregará el molí eòlic al final de cada mes gràcies a una gràfica proporcionada dins la fitxa tècnica.



**Figura 4.4.** Producció estimada d'electricitat (kWh) segons velocitat del vent (m/s)

(Font: Primus WindPower)

Com podem veure la potencia mitjana obtinguda aproximada és d'uns 3,5KWh/mes el que equival a 116,67Wh diaris. Si es tenen en compte les pèrdues en el cablejat i la bateria, l'energia real aportada pel molí serà de 109,67Wh diaris independentment del mes de l'any.

### 4.3. Energia total obtinguda

Amb les dades obtingudes en els apartats previs es pot calcular l'energia total obtinguda i així estimar la quantitat de càrregues al dron que la base podrà realitzar. En la següent taula s'obté l'energia total per mes que es disposaria amb una bateria de capacitat infinita.

Mes	Energia placa solar (Wh/dia)	Energia molí eòlic (Wh/dia)	Energia total obtinguda (Wh/mes)
<b>Gener</b>	561	109,67	670,67
<b>Febrer</b>	601	109,67	710,67
<b>Març</b>	655	109,67	764,67
<b>Abril</b>	641	109,67	750,67
<b>Maig</b>	730	109,67	839,67
<b>Juny</b>	751	109,67	860,67
<b>Juliol</b>	758	109,67	867,67
<b>Agost</b>	733	109,67	842,67
<b>Setembre</b>	619	109,67	728,67
<b>Octubre</b>	608	109,67	717,67
<b>Novembre</b>	556	109,67	665,67
<b>Desembre</b>	535	109,67	644,67
<b>Mitjana anual</b>	645,67	109,67	755,34

**Taula 4.3.** Taula energia total obtinguda suposant una capacitat d'emmagatzematge il·limitada (Font: PVGIS)

A la mateixa pàgina de PVGIS he introduït l'energia total mes a mes així com el valor real de la capacitat de la bateria i he suposat un consum diari de 816,96Wh que equival a la càrrega de 4 drons. Amb aquestes dades la pàgina retorna una taula on podem veure l'energia aprofitada (que serà menor a la total degut a la capacitat de la bateria), i el percentatge de temps on la bateria està al mínim de capacitat així com el màxim.

Mes	Energia aprofitada (Wh/dia)	Percentatge de temps amb bateria plena (%)	Percentatge de temps amb bateria buida (%)
<b>Gener</b>	644	45	75
<b>Febrer</b>	660	47	64
<b>Març</b>	697	57	50
<b>Abril</b>	702	47	55
<b>Maig</b>	745	68	35
<b>Juny</b>	768	67	30
<b>Juliol</b>	775	71	25
<b>Agost</b>	780	61	28
<b>Setembre</b>	699	44	60
<b>Octubre</b>	679	48	54
<b>Novembre</b>	639	37	79
<b>Desembre</b>	632	32	99
<b>Mitjana anual</b>	701,67	52	54,5

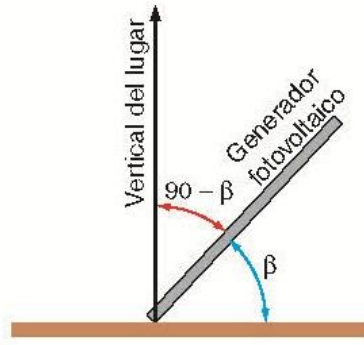
**Taula 4.4.** Taula energia total obtinguda (Font: PVGIS)

El percentatge de temps amb els dos estats de la bateria es molt similar, això indica que durant la major part de l'any es podran carregar fins a 4 drons diaris mentre que els mesos de menor irradiació només se'n podran carregar 3. S'hi pot veure també una pèrdua diària mitjana prou significativa de 53,67Wh/dia degut a la bateria plena.



## 5. Càlcul de la inclinació òptima per a la placa solar

Un punt important per al disseny de qualsevol instal·lació fotovoltaica, és la inclinació que han de tenir els mòduls per a la captació de la major quantitat possible de radiació solar. Segons el plec de condicions de l'IDAE, la inclinació dels mòduls solars es defineix mitjançant l'angle d'inclinació  $\beta$ , que és l'angle que forma la superfície dels mòduls amb el pla horitzontal. El seu valor és  $0^\circ$  per a mòduls horitzontals i  $90^\circ$  per a mòduls verticals.



**Figura 5.1.** Representació de l'angle  $\beta$  en una placa solar (Font: solar-energia.net)

El càlcul de la inclinació òptima dels panells solars, s'obté mitjançant el mètode de "mes pitjor", en el qual, es considera el mes de menor radiació captada sobre els panells. Per utilitzar aquest mètode s'ha de tenir en compte dues variables; el període en què s'utilitzarà la instal·lació solar fotovoltaica. Ha de definir-se si s'explotarà a l'estiu, a l'hivern o durant tot l'any i la latitud de l'emplaçament on estaran instal·lats els panells solars.

Tindrem en compte doncs que la ubicació on estarà situada l'estació serà a les proximitats de Barcelona i per tant, agafarem la latitud d'aquesta com a òptima.

$$\text{Latitud Barcelona } (\Phi) = 41^\circ 23' 20'' \text{N} = 41.3889^\circ$$

Segons el mètode de “mes pitjor”, la inclinació òptima dels panells respecte a l'horitzontal s'expressa segons la següent taula:

PERÍODE DE DISSENY	$\beta$ opt
HIVERN	$\Phi+10^\circ = 51.3889^\circ$
ESTIU	$\Phi-20^\circ = 21.3889^\circ$
ANUAL	$\Phi-10^\circ = 31.3889^\circ$

**Taula 5.1.** Inclinació òptima segons el període de disseny utilitzant la fórmula del “mes pitjor” (Font pròpia)

## 6. Estudi final torre de càrrega

Com a complementació dels càlculs realitzats, s'ha realitzat també un estudi amb el SolidWorks Simulation. Aquesta eina permet representar unes condicions de contorn en qualsevol estructura dissenyada amb el mateix SolidWorks i calcular-ne les tensions de Von-Misses, tensions tallants, el desplaçament unitari, comprovar si els perns de la torre aguantaran aquestes tensions entre d'altres funcions. Es realitzaran dos estudis, un sense els tirants i l'altre amb tirants, per tal de veure les diferències entre aquests.

### 6.1. Preparació estudi

Abans d'executar l'estudi cal establir els materials de les peces que formen la torre, les condicions de contorn que definiran l'estructura i la definició de la malla que utilitzarà l'ordinador per tal de calcular l'estructura utilitzant el mètode d'elements finits.

- **Materials.** Els materials que conformaran l'estructura seran l'alumini 6063 T5 per als tubs cilíndrics que conformen l'estructura i el acer AISI 1020 per a les pestanyes de la placa solar i el conjunt de cargoleria.

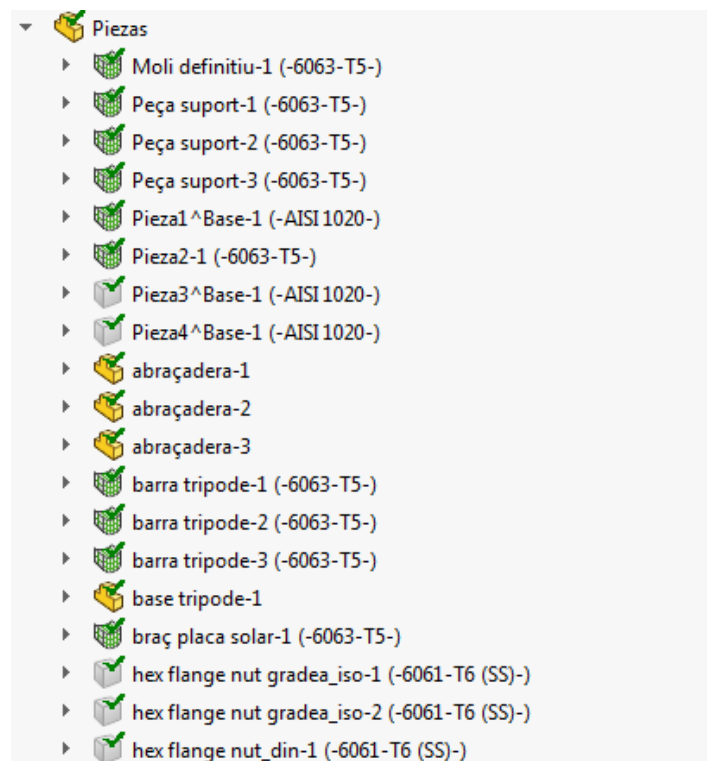
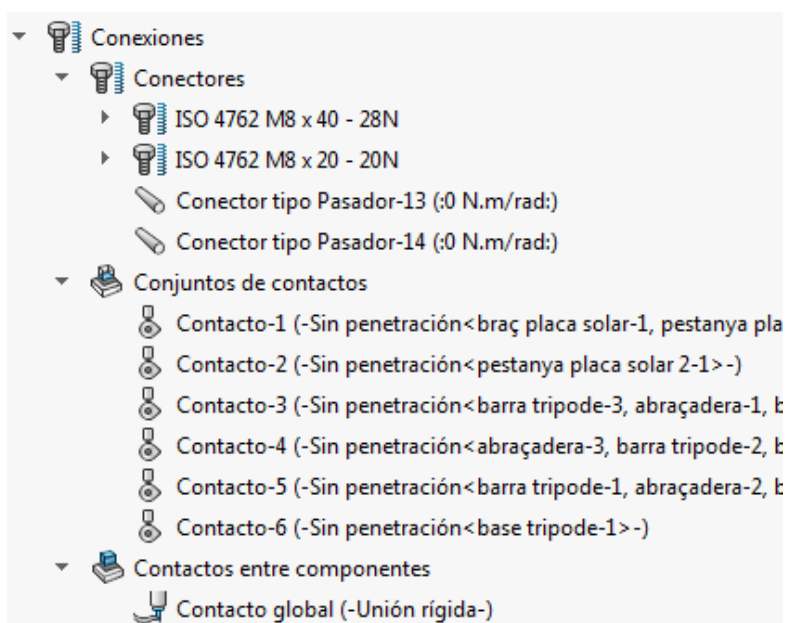


Figura 6.1. Establiment dels materials al simulador (Font pròpia)

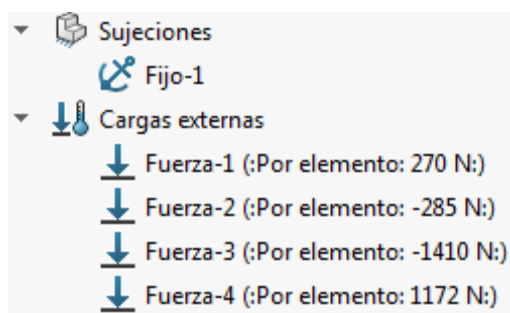
- **Connexions.** El programa disposa de tres tipus de connexions: **Connexions rígides.** Totes les connexions rígides entre diferents peces seran solucionades com si es tractés d'una sola peça. **Connexions sense penetració.** Les peces en contacte que tinguin una connexió sense penetració permetran el lliscament. En aquesta opció de connexions es pot establir el coeficient de fricció que es vulgui. **Connexions amb penetració.** Aquest tipus de connexió permet penetració entre peces mentre que s'està produint el lliscament.



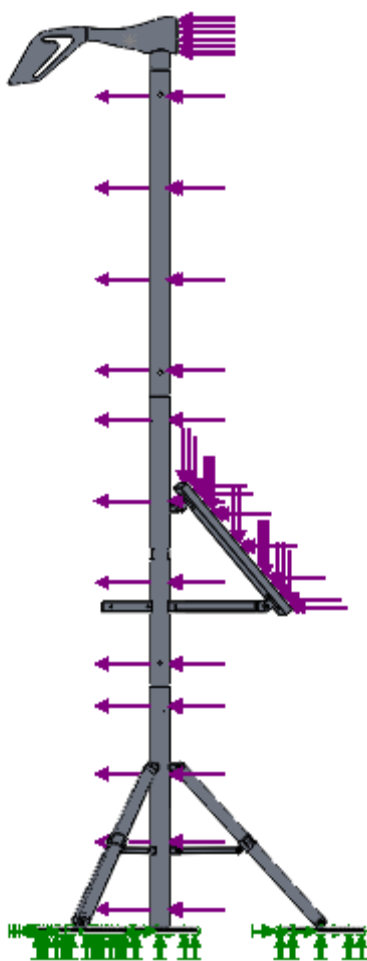
**Figura 6.2.** Establiment de les connexions al simulador (Font pròpia)

L'apartat de “conectores” representa les connexions que es duen a terme als cargols de l'estructura. El programa reconeix directament aquestes connexions i en defineix els valors predeterminats. Tot i així ha sorgit un problema amb aquestes connexions ja que el programa no reconeixia bé els perns que subjectaven les pestanyes de la placa a la torre. Per tal de solucionar-ho no he tingut altra manera que aproximar el conjunt cargol-femella com si d'un passador es tractés. L'apartat de “conjuntos de contactos” defineix tots els contactes sense penetració de l'estructura. Els números 1 i 2 pertanyen a les pestanyes de la placa solar, els números 3-4-5 pertanyen a les tres potes del trípod de la base i el número 6 pertany als dos cilindres interiors. L'últim, “contactos entre componentes” estableix el tipus de contacte en la resta de connexions.

- **Subjeccions i càrregues.** Les úniques sujeccions que es troben a l'estructura són els tres peus de la base i els tirants que estan definits com a “geometria fija”. Les càrregues són totes provocades per la força del vent i tenen els valors calculats a l'apartat *Annex B: Dimensionament de la torre*. A la Figura 5.1 es poden veure gràficament les forces en color violeta i les sujeccions en color verd.

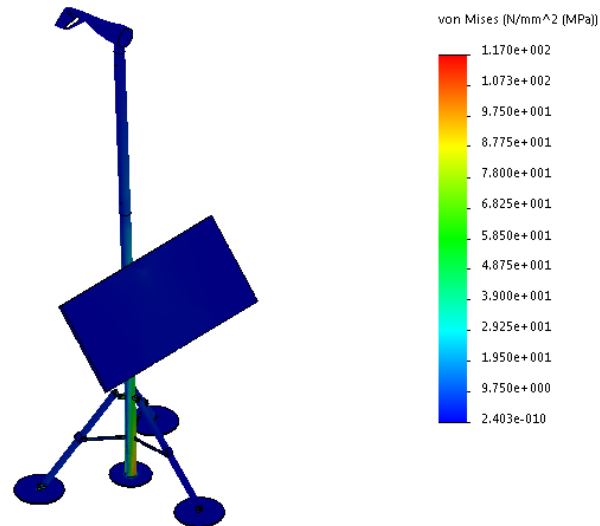


**Figura 6.3.** Establiment de les forces al simulador (Font pròpia)

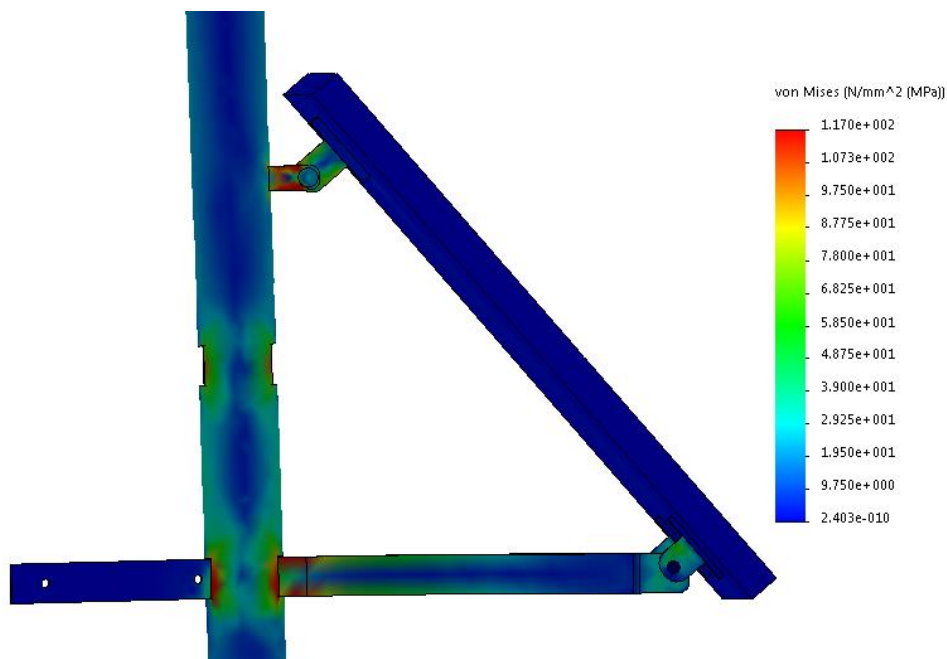


**Figura 6.4.** Representació de les forces (color violeta) i els punts de suport de la torre (color verd) (Font pròpia)

Ara ja està tot a punt per tal d'executar l'estudi, la següent imatge mostra les tensions de Von Mises per a la torre en MPa. Les zones que tendeixen al vermell són les que s'aproximen més a la tensió màxima majorada del material (117MPa per a l'alumini).

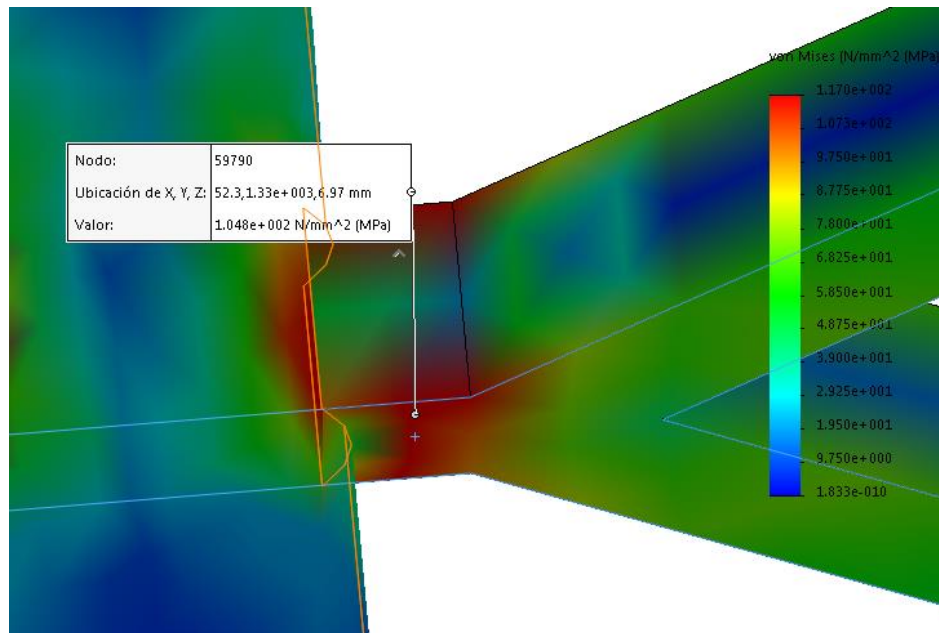


**Figura 6.5.** Vista isomètrica de les tensions de Von Mises actuant a la torre (Font pròpia)

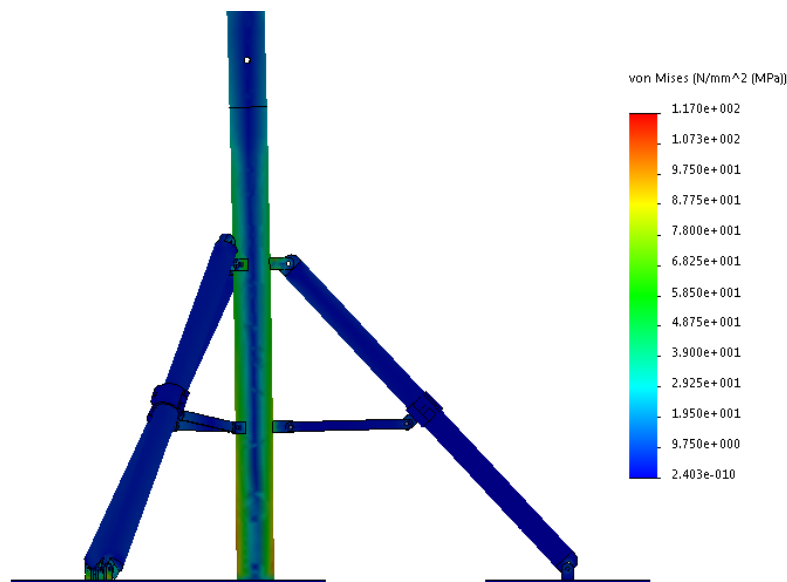


**Figura 6.6.** Detall tensions de Von Mises al suport de la placa solar (Font pròpia)

Com es pot veure a la imatge anterior, les subjeccions de la placa a l'estructura són les que més pateixen. Sobretot la pestanya superior que de ben segur requerirà un major gruix. A la següent imatge es pot veure el valor màxim de tensió al braç en forma d'Y". Aquest valor és de 104,80MPa en comparació amb els 99,17MPa que s'han calculat per a aquesta peça. Considero que aquest valor calculat pel programa serà menor en el cas real ja que el tipus de connexió que està establerta es de contacte rígid quan en la realitat hi haurà una tolerància que podria afavorir una disminució de la tensió en aquesta zona.

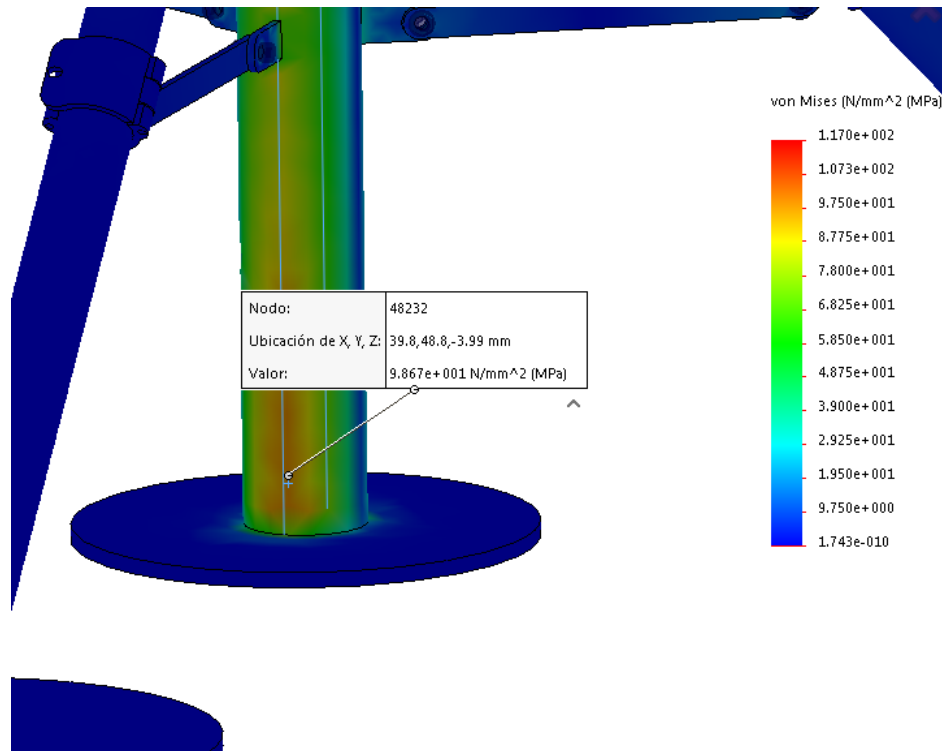


**Figura 6.7.** Valor màxim de la tensió al suport en forma de "Y" (Font pròpia)



**Figura 6.8.** Detall de les tensions de Von Mises actuant a la base (Font pròpia)

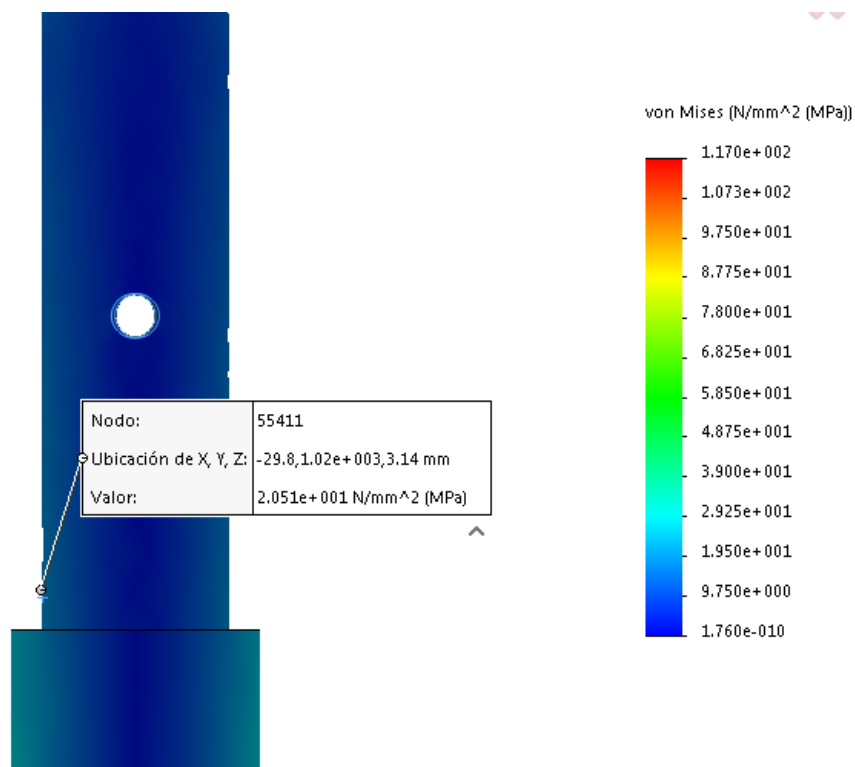
A la següent imatge s'identifica el valor màxim de la tensió als cilindres que conformen la torre que com ja s'ha previst a l'apartat *Annex B: Dimensionament de la torre* es troba a la base. Aquest té un valor de 98,67MPa que es troba molt pròxim als 98,85MPa calculats, per tant no hi ha res a comentar respecte la base.



**Figura 6.9.** Valor màxim de la tensió de Von Mises a la base (Font pròpia)

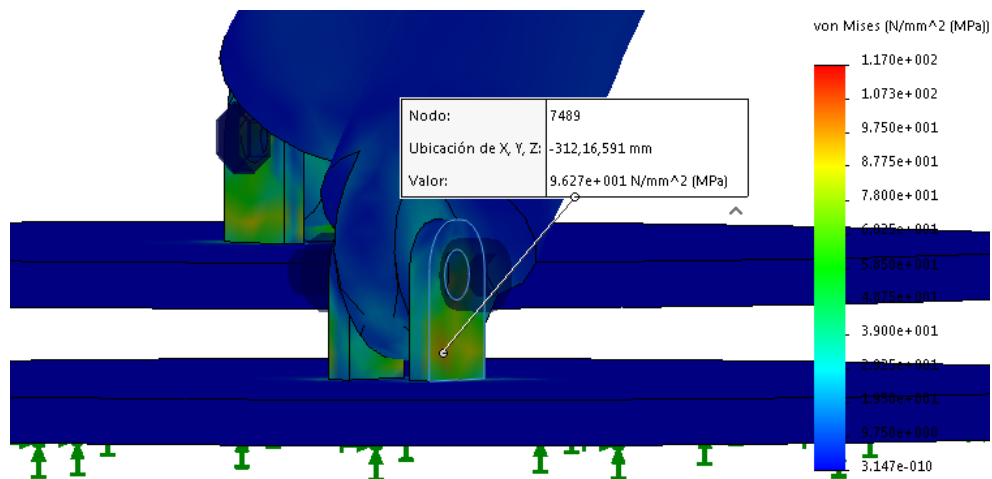
La imatge 6.7 representa el cilindre interior de la primera secció de cilindre, és per tant la secció de cilindre interior que estarà sotmesa a una tensió més gran. Com es pot veure el valor d'aquesta tensió màxima és de 20,51MPa, lleugerament inferiors als 24,30MPa calculats.



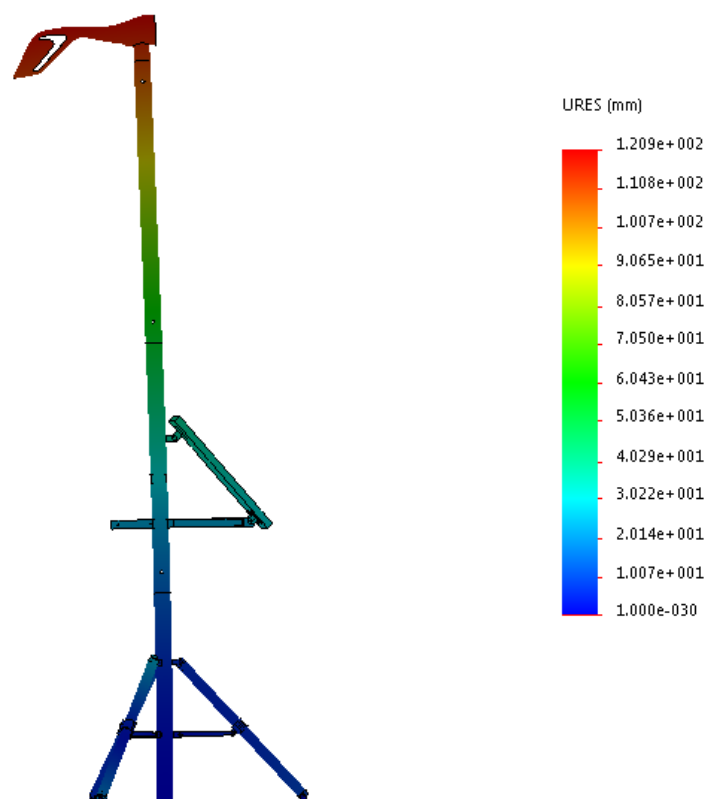


**Figura 6.10.** Vista isomètrica de les tensions de Von Mises actuant a la torre (Font pròpia)

Un altre zona amb tensions força elevades que cal remarcar són les pestanyes que uneixen les bases amb les barres que formen el trípod, en aquestes pestanyes la tensió màxima tindrà un valor de 96,27 MPa.



**Figura 6.11.** Vista isomètrica de les tensions de Von Mises actuant a la torre (Font pròpia)

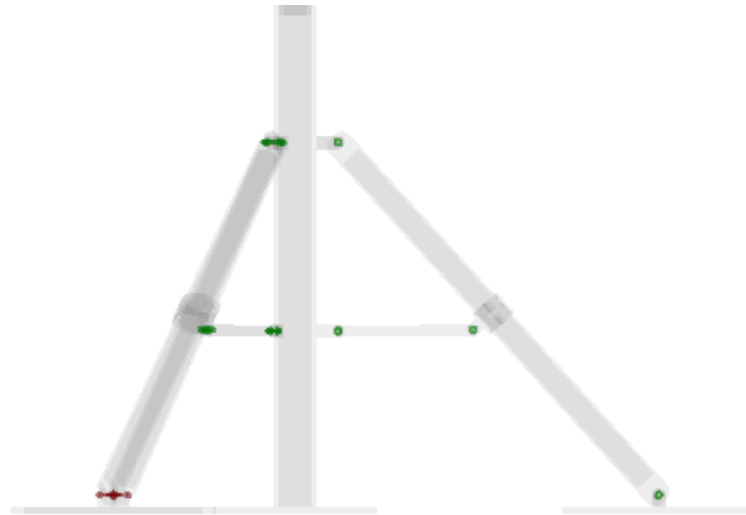


**Figura 6.12.** Vista lateral dels desplaçaments a la torre (Font pròpia)

La figura anterior mostra els desplaçaments produïts a l'estructura, com era d'esperar es produirà el màxim desplaçament al cim de la torre on se situa el molí. Aquest desplaçament màxim serà d'aproximadament 120mm que considero acceptables per a una estructura d'aquestes dimensions. Tot i així a la realitat aquest desplaçament serà menor degut al arriostrament provocat pels tres vents.

Les següents imatges mostren els resultats de l'operació "comprobar pernos" que realitza un estudi del conjunt de tensions i moments que s'hi troben per tal de determinar si suportaran la càrrega amb les dimensions determinades. Els dos conjunts cargol-femella que es veuen en vermell a la Figura 5.10 són els que podrien trencar en un cas de càrrega com l'estudiat. El programa ens recomana canviar el conjunt cargol-femella a la mida M10 per tal d'assegurar-ne la integritat. Tot i que només caldria canviar els dos perns indicats en vermell, es canviaran els tres que formen la connexió entre les potes del trípod i les bases degut a que molt possiblement si la direcció del vent fos en sentit contrari (esquerra-dreta segons la imatge) fallaria el connector ara indicat en verd. A la imatge en forma de taula es poden veure els valors de forces i tensions que s'hi produeixen als connectors indicats en vermell.

Pel que fa als connectors de la placa solar tots tres han passat la prova i no requereixen més atenció.



**Figura 6.13.** Vista dels pernys a la base (Font pròpia)

Nombre de estudio: Anàlisis estático

Conector: Todos los conectores Unidades: SI

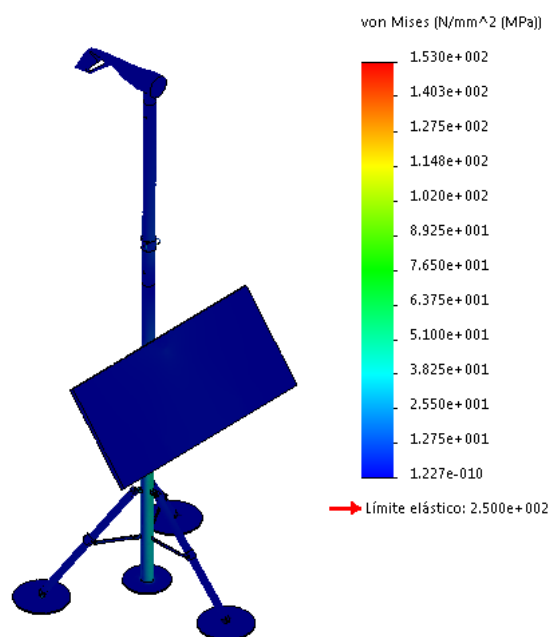
Tipo de conector: Conector

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza axial (N)	3334	0	1838.2	3807.2	ISO 4762 M
Momento flector (N.m)	-11.547	3.0713	20.944	24.112	ISO 4762 M
Torsión (N.m)	0	0	0	0	ISO 4762 M
Fuerza cortante (N)	127.22	1885.7	210.64	1901.7	ISO 4762 M
Fuerza axial (N)	-2972.4	0	1795.2	3472.4	ISO 4762 M

**Figura 6.14.** Valors de força axial, moment flector, moment torsor, força tallant i força axial dels pernys que no han passat la prova (Font pròpia)

Finalment s'ha realitzat l'estudi de càrregues simulant l'addició dels tres tirants. Per tal de fer-ho he inclòs a l'estudi dues forces de 3kN que simulen la tensió realitzada.

Com es pot veure a la següent imatge, les tensions a la base i en general a la resta de l'estructura són menors quan la torre es troba arriestrada degut a que els cables absorbeixen part de la càrrega total d'aquesta.



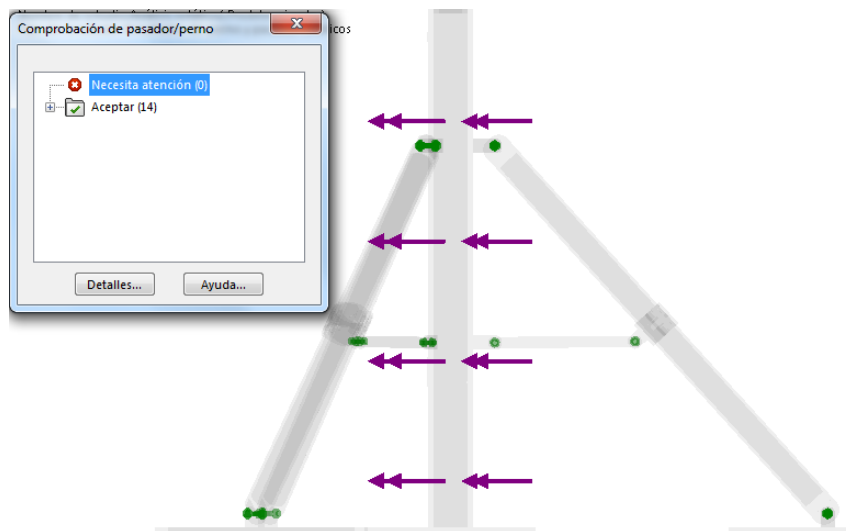
**Figura 6.15.** Vista isomètrica de les tensions de Von Mises amb arriostrament (Font pròpia)

## 7. Consideracions finals de disseny i dimensionament

Durant la realització del treball he pogut comprovar que són necessaris uns últims canvis en el disseny i dimensionament per tal de millorar l'estructura.

Els canvis més necessaris en el dimensionament sorgeixen a raó de l'estudi estàtic anterior. Aquests canvis es refereixen a un major gruix per a la pestanya superior de la placa solar i els pernns situats entre les bases i les barres que formen el trípod.

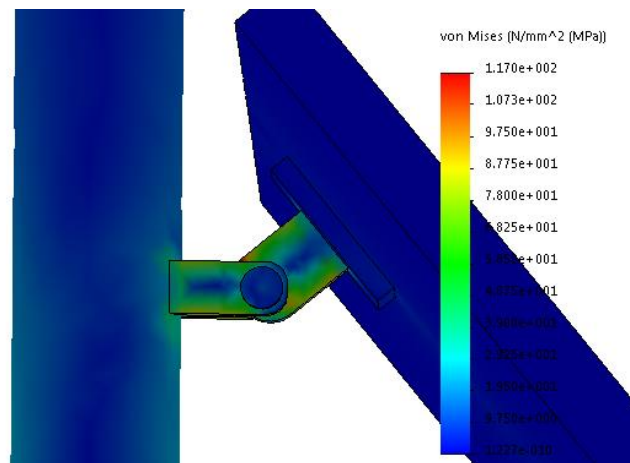
S'ha tornat a executar l'estudi anterior modificant els pernns que uneixen les potes del trípod amb les bases i la torre. La modificació ha consistit en engrandir els conjunts pern-femella de M8 a M10.



**Figura 7.1.** Vista de la base amb la comprovació de pernns correcta (Font pròpia)

Com es pot veure a la imatge anterior, amb la modificació dels pernns, el programa ens indica que tots passen la prova de comprovació i que no necessiten més atenció.

A l'estudi també s'ha augmentat el gruix de les pestanyes superiors que amarren la placa solar amb el tub principal de la torre fins als 13mm, d'aquesta manera la màxima tensió indicada pel simulador en aquesta zona no supera la tensió màxima admissible establerta per aquest material.



**Figura 7.2.** Vista de detall de la subjecció de la placa solar amb gruix 13mm (Font pròpia)

Durant l'elaboració del manual de muntatge de la torre de càrrega vaig visualitzar com seria el muntatge i vaig comprovar que realitzant una petita modificació seria més fàcil de dur a terme. La part més complicada del muntatge és col·locar l'últim tram de la torre amb el molí prefixat. Aquesta part implica aixecar 16kg de pes fins a una altura d'uns 2m per tal de poder encaixar els dos trams de l'estructura.

Per tal de poder facilitar aquesta etapa del muntatge crec que seria convenient soldar una mànega a l'últim tram de la torre perquè els tècnics que realitzin l'assemblatge tinguin un punt de referència on sustentar tot aquest pes. La mànega s'ha dissenyat paral·lela a la direcció del vent més crítica per tal que oposi la menor resistència aerodinàmica possible. A continuació es mostra una imatge fotorealista del disseny final del segon tram de la torre.



**Figura 7.3.** Vista fotorealista del segon tram amb agafadora (Font pròpia)



**Figura 7.4.** Vista fotorealista del disseny final de la torre (Font pròpia)

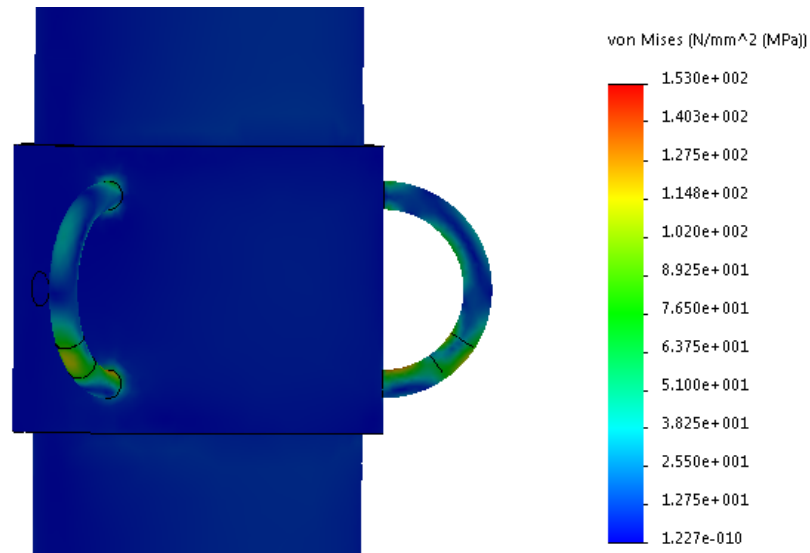




**Figura 7.5.** Vista fotorealista del disseny final de l'estació (Font pròpia)



Finalment s'ha hagut de dissenyar la peça a on s'hi fixaran els mosquetons que estarà fabricada en acer per facilitar-ne la fabricació. Tindrà forma de tub amb tres anelles com es pot observar a la següent figura. Les anelles hauran de ser massisses amb un diàmetre de 7mm per tal que aguantin la tensió especificada (3kN). El tipus d'acer i les dimensions del tub es detallen a l'apartat A.6 *Dimensionament de la peça de suport dels tirants.*



**Figura 7.6.** Vista de les tensions de Von Mises a la peça de subjecció (Font pròpia)



## 8. Anàlisi de l'impacte ambiental

En aquest apartat s'estudiarà l'impacte mediambiental que en resulta de la creació de la nostra estructura, ja que l'alumini és el material més utilitzat aquest és el que ens crearà una petjada ecològica més gran.

### 8.1. Impacte ambiental de l'alumini.

Per tal de saber l'impacte ambiental que causarà l'alumini utilitzat per l'estació de recàrrega primer hem de conèixer el procés de fabricació d'aquest material. El cicle de vida de l'alumini comença per l'extracció de bauxita, que és un mineral que conté òxids d'alumini. La bauxita és per tant la matèria primera d'aquest metall, que és el tercer element químic més abundant de l'escorça terrestre.

A continuació s'ha de convertir en alumina la bauxita extreta. Per tal de realitzar aquesta tasca es renta i es tritura la bauxita, barrejant-la amb sosa càustica a altes temperatures. Així, els components de la bauxita que no interessin se separen dels òxids d'alumini, quedant l'alumina suficientment pura per tractar-la en el següent pas del procés de fabricació.

Una vegada s'obté l'alumina cal convertir-la en alumini a través d'un procés anomenat electròlisi. Així, s'obté un alumini molt pur en estat líquid que s'usa per a fabricar aliatges com l'utilitzat en l'estació de recàrrega dissenyada en aquest treball. Aquest aliatge, el 6063 T5, conté els següents minerals a part de l'alumina:

- Silici, entre 0,2% - 0,6% del pes total
- Ferro, màxim 0,35% del pes total
- Coure, màxim 0,10% del pes total
- Manganès, màxim 0,10% del pes total
- Magnesi, entre 0,45% - 0,9% del pes total
- Crom, màxim 0,10% del pes total
- Cinc, 0,10% del pes total
- Titani, màxim 0,10% del pes total

Un cop coneixem el procés de fabricació ja podem passar a calcular la petjada ecològica en CO<sub>2</sub> que sorgirà de la fabricació de les barres d'alumini. Segons l'IAI (International Aluminium Institute) la petjada ecològica de l'alumini per a la fabricació de perfils per a la construcció és d'1,6 Kg de CO<sub>2</sub> per Kg d'alumini produït. Aquest factor és vàlid per a la producció d'alumini des de la bauxita fins

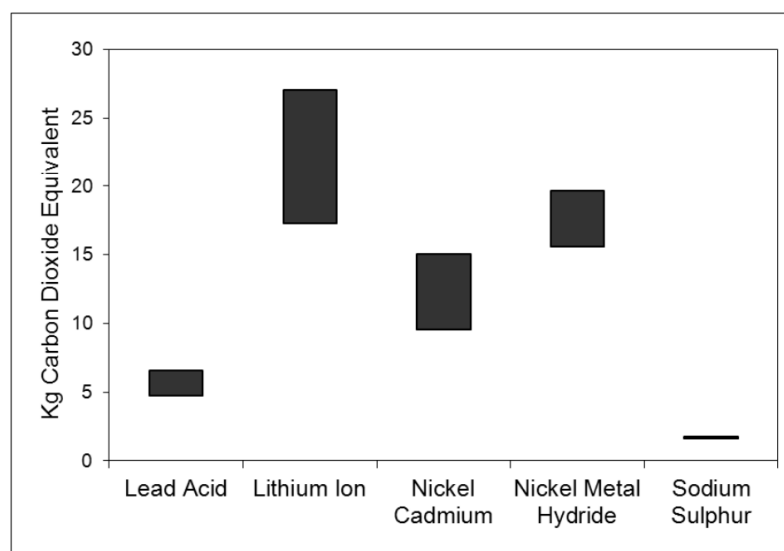
al lingot d'alumini pur. Per a l'obtenció de l'aliatge i perfil són necessaris 10,4 Kg de CO<sub>2</sub> per Kg d'alumini produït.

## 8.2. Impacte ambiental de la bateria de plom-àcid

Les bateries de plom-àcid estan compostes bàsicament dels següents materials: plàstic, plaques internes de plom i electròlit líquid. A continuació detallo les parts i els materials de fabricació.

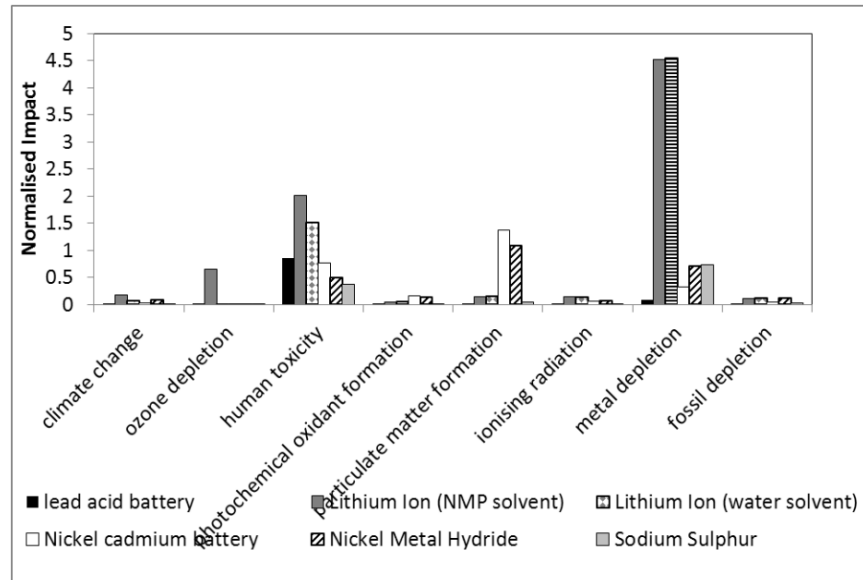
- Caixa de plàstic resistent, normalment polietilè. El material de la caixa també pot ser metall o goma sintètica.
- Plaques internes de plom positives i negatives. L'elèctrode positiu (càtode) normalment està fet de diòxid de plom pur integrat estructuralment a una reixeta metàl·lica. L'elèctrode negatiu (ànode) és una reixeta d'aliatge de plom i metall amb un o més additius bàsics (antimoni, calci, arsènic, coure, estany, estronci, alumini, seleni, entre d'altres).
- Els separadors de plaques són de material sintètic porós, encara que també es comú fabricar-los de polietilè, PVC i fibra de vidre.
- Les plaques estan submergides en un electròlit líquid compost per un 35% d'àcid sulfúric i un 65% d'aigua. L'electròlit és el mitjà en el qual es produeixen les reaccions químiques que generen l'energia elèctrica.

L'estimació del CO<sub>2</sub> produït en la fabricació d'aquestes bateries l'he trobat en un article del Dr. Marcelle McManus per a la Universitat de Bath. En aquest article es detalla un gràfic amb els diferents nivells de producció de CO<sub>2</sub> per a diverses bateries.



**Figura 8.1.** Gràfic de Kg de CO<sub>2</sub> equivalent per MJ d'energia (Font: opus.bath.ac.uk )

Com es pot observar al gràfic, es necessiten entre 5-7 Kg de CO<sub>2</sub> per tal de fabricar una bateria d'1MJ d'energia. La bateria que s'utilitzarà és de 0,177kWh el que equival a 0,639MJ, per tant la fabricació de la bateria comportaria entre 3,195 -4,473 Kg de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera.



**Figura 8.2.** Gràfic comparatiu dels diferents tipus de contaminació que generen les bateries  
(Font: opus.bath.ac.uk )

A l'article esmentat també trobem l'anterior gràfic on s'indica l'impacte ambiental d'altres factors com son el deteriorament de la capa d'ozó, l'alliberament de productes tòxics per als humans, producció de partícules, radiació ionitzant o el consum de metalls rars. La bateria d'àcid-plom és de les menys nocives per al medi ambient i només seria perillosa per a la toxicitat humana i animal. Les bateries més modernes com les d'ió de liti són més perilloses mediambientalment.

### 8.3. Estalvi mediambiental degut a la generació d'electricitat mitjançant fonts renovables

Degut a que l'estació de recàrrega estudiada generarà electricitat a partir de l'energia eòlica i solar és convenient comprovar l'estalvi mediambiental generat degut a la utilització d'aquestes energies. Aquest estalvi es pot comptabilitzar dins de l'estudi<sup>1</sup> "Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad" elaborat en cooperació entre el Ministeri de Ciència i Tecnologia i l'IDAE on s'hi pot veure una comparació entre les diferents tecnologies de producció d'energia. L'estudi conclou atorgant a cadascuna de les tecnologies estudiades un valor total d'ecopunts d'impacte mediambiental per Terajoule d'electricitat produït. -Un Terajoule equival a 278 Megavats hora (MWh) és a dir la quantitat d'electricitat que consumeixen 278.000 estufes d'1.000 W durant una hora-.

Els resultats de l'estudi en termes de ecopunts d'impacte són els següents:

- Els sistemes de generació d'electricitat basats en els combustibles fòssils tradicionals (lignit, carbó, petroli) són els únics que superen els 1.000 ecopunts, per la qual cosa resulten els sistemes de major impacte mediambiental.

Total ecopunts superior a 1.000	
<b>Sistema lignit</b>	1735
<b>Sistema petroli</b>	1398
<b>Sistema carbó</b>	1356

**Taula 8.1.** Ecopunts per al lignit, petroli i carbó (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad)

<sup>1</sup> Impactos ambientales de la producción de electricidad. Consultat 9 de Maig de 2017 a [http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17\\_Estudio\\_Impactos\\_MA\\_mix\\_electrico\\_APPA.pdf](http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17_Estudio_Impactos_MA_mix_electrico_APPA.pdf)

- Els sistemes de generació d'electricitat basats en l'energia nuclear i en el gas natural se situen entre els 100 i els 1.000 ecopunts, per tant en una posició intermèdia d'impacte. En aquest mateix punt es situa també una de les energies utilitzades en aquest projecte i una de les energies renovables més utilitzades a Espanya, la solar.

Total ecopunts entre 100 i 1.000	
<b>Sistema nuclear</b>	672
<b>Sistema solar fotovoltaic</b>	461
<b>Sistema gas natural</b>	267

**Taula 8.2.** Ecopunts per a l'energia nuclear, energia fotovoltaica o gas natural (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad)

- Els dos sistemes basats en recursos renovables com el mini hidràulic i l'eòlic, són els que presenten un menor impacte mediambiental, obtenint una puntuació inferior als 100 ecopunts d'impacte.

Total ecopunts inferior a 100	
<b>Sistema eòlic</b>	65
<b>Sistema mini hidràulic</b>	5

**Taula 8.3.** Ecopunts per a l'energia eòlica i mini hidràulica (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad)

Els resultats obtinguts presenten una gran concordança amb les opinions majoritàriament existents fins ara dins de la comunitat científica, basades en avaluacions anteriors: les energies renovables tenen en general un impacte mediambiental menor que les energies convencionals. De l'anàlisi comparativa de les taules anteriors es pot extreure les següents dades i conclusions:

- L'impacte mediambiental de les energies convencionals és de mitjana 31 vegades superior al de les energies renovables.
- Les energies renovables no requereixen per al seu funcionament cap procés de combustió, que és normalment el causant dels majors impactes mediambientals de les energies no renovables.

- Els recursos energètics renovables són inesgotables i a més dispersos, la qual cosa fa que les necessitats de transformació i transport siguin menors.
- Els impactes mediambientals de les energies renovables no només són més reduïts que els de les energies convencionals sinó que a més tenen caràcter local, la qual cosa facilita l'adopció de mesures tant de vigilància com de minimització dels mateixos.

Finalment, per acabar l'estudi s'indica a la següent taula els impactes mediambientals de les energies utilitzades en aquest treball per categories i per sistema energètic utilitzat.-

	Escalfament global	Disminució capa d'ozó	Acidificació	Eutrofització	Metalls pesats	Substàncies cancerígenes
<b>Sistema eòlic</b>	2,85	1,61	3,49	0,27	40,70	9,99
<b>Sistema solar</b>	15,40	3,66	97,00	1,97	167	75,70
	Boira d'hivern	Boira fotoquímica	Radiacions ionitzants	Residus	Residus radioactius	Agotament recursos energètics
<b>Sistema eòlic</b>	1,48	1,25	0,01	0,29	1,83	0,91
<b>Sistema solar</b>	53,30	3,03	0,12	1,84	34,90	7,06

**Taula 8.4.** Total d'ecopunts desglossat segons actiu contaminant i sistema utilitzat (Font: Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad)



## 9. Conclusions

En la present memòria, pressupostos, càlculs justificatius, plànols i annexos s'ha dissenyat i avaluat la fabricació d'una estació de càrrega autònoma per a drons elèctrics, amb capacitat de recàrrega de fins a 4 drons diaris mitjançant tecnologies d'obtenció d'energies renovables. Aquesta estructura complirà les normes de *Reglament Electrotècnic de baixa tensió* així com la norma *UNE-EN 1090-2:2011 Ejecución de estructuras de acero y aluminio*, pertanyent a l'*EUROCÓDIGO*.

Durant l'elaboració d'aquest projecte he comprovat per mi mateix el procés d'elaboració d'un producte abans de que surti al mercat. L'estudi de mercat, disseny inicial, estudi de posicionament, estudi del rendiment dels components, càlculs de dimensionament, disseny final i pressupost són alguns dels processos pels quals he tingut que passar per arribar al resultat final. Sobretot pels processos de disseny i càlcul he estès el meu domini amb l'eina informàtica SolidWorks i els seus complements, que he comprovat que tenen multitud de funcions útils per als enginyers.

Un cop acabat el projecte és convenient realitzar una visió constructiva, recomanant algunes possibles variacions per tal de millorar encara més l'estructura. Encara que aquesta estació dota d'una extensa compatibilitat de plaques i molins, s'hi podrien fer petites modificacions en el dimensionament per tal de poder albergar sistemes de producció d'energia a una major escala així com modificacions en la inclinació de la placa solar per tal d'adaptar-la a un mercat més global.

Una altra possible millora seria modificar la velocitat màxima del vent que pot suportar l'estructura, recordo que vaig prendre la velocitat de supervivència del molí com a referència per a la resta de l'estructura. Aquesta velocitat és de 49,2 m/s o el que és el mateix 177,12 km/h. Les ratxes màximes de vent registrades en els últims anys a Catalunya ronden els 160 km/h fet que demostra que és gairebé impossible arribar a la velocitat de ruptura de l'estació. Per aquest fet es podria crear un altre model amb una menor resistència aerodinàmica per tal d'adaptar-lo a un mercat europeu i d'aquesta manera, reduir les seves dimensions (recordo que el pes de l'últim tram amb el molí és de 17 kg que haurà d'aixecar un sol operari). Igualment, aquesta estructura seria ideal en llocs on sovint s'hi trobin aquest tipus de vents com pot ser el sud-est dels Estats Units.

Tot i les estrictes condicions que s'han exigint a l'estructura, s'ha dissenyat amb la portabilitat, facilitat de muntatge i ús com a punts principals, tot mantenint un pressupost viable per tal que tant clients de l'àmbit privat com empresarial tinguin l'oportunitat de comprar-la i utilitzar-la com una solució senzilla i competitiva per a la recàrrega remota dels seus drons.

Com a conclusió he d'incidir que les energies renovables tenen un llarg camí per recórrer i està acceptat mundialment, que el canvi climàtic sorgeix com a conseqüència de l'emissió dels gasos d'efecte hivernacle, gran part d'ells provinents de la generació d'energia. És lògic suposar que el sector de les energies renovables experimentarà un gran impuls en els propers anys, amb el consegüent canvi de tota la maquinària que utilitza combustible fòssil per al seu funcionament. Aquest benefici ecològic, al mateix temps obrirà un gran ventall de possibilitats a la indústria dels drons i als inversors públics o privats que apostin per aquesta tecnologia.

## Pressupost

TORRE CÀRREGA			
PREU MATERIALS			
QUANTITAT	ARTICLE	PREU UNITARI	PREU TOTAL
3,35 m	Tub 80x10 mm alumini 6063 T5	68,10 €/m	228,13 €
0,4 m	Tub 60x10 mm alumini 6063 T5	48,90 €/m	19,56 €
1,32 m	Perfil quadrat 40x4 mm alumini 6063 T5	23,80 €/m	31,41 €
0,2 m	Tub acer 48x3mm AISI 1020	16,60 €/m	3,32 €
2,7 m	Tub 46x4 mm alumini 6063 T5	14,10 €/m	38,07 €
9,90 m	Cable de tensat 4mm d'acer galvanitzat	1,40 €/m	13,86 €
0,15m <sup>2</sup>	Planxa d'alumini 6063 T5 de 5mm <sup>2</sup> per a la fabricació de les pestanyes i les bases	57,50 €/m <sup>2</sup>	8,63 €
0,81 m	Platina d'acer 40x5mm	4,80 €/m	3,88 €
3	Tensors M8	1,90 €/unitat	5,70 €
3	Mosquetó tipus k amb anella de seguretat	3,60 €/unitat	10,80 €
6	Cargol ISO 4762 M8x20mm	0,55 €/unitat	3,30 €
6	Cargol ISO 4762 M10x40mm	0,64 €/unitat	3,84 €
2	Cargol ISO 4762 M12x40mm	0,83 €/unitat	1,66 €
1	Cargol ISO 4762 M16x110mm	0,95 €/unitat	0,95 €
10	Femella ISO 4161 M10	0,35 €/unitat	3,50 €

2	Femella ISO 4161 M12	0,40 €/unitat	0,80 €
1	Femella ISO 4161 M16	0,47 €/unitat	0,47 €
1	Cargol amb papallona DIN 316 M8x40mm	1,13 €/unitat	1,13 €
1	Cargol amb papallona DIN 316 M12x40mm	3,41 €/unitat	3,41 €
1	Femella amb papallona DIN 316 M8	0,71 €/unitat	0,71€
1	Femella amb papallona DIN 316 M12	1,69 €/unitat	1,69€
3	Femella amb papallona DIN 316 M16	2,40 €/unitat	7,2€
2	Passador roscat M16x115 mm	0,92 €/unitat	1,84 €
1	Passador roscat M16x80 mm	0,84 €/unitat	1,68 €
3	Brida 46mm	3,95 €/unitat	11,85 €
<b>PREU FABRICACIÓ</b>			
28 hores	Fabricació en taller METATÈCNIA (Vilanova i la Geltrú) de la torre de càrrega. Inclou la fabricació de les pestanyes, dels passadors, i el material necessari per a les soldadures)	23,21 €/hora	649,88 €
35 hores	Disseny i estudi mecànic de la torre de càrrega realitzat per un Enginyer Mecànic.	12 €/hora	420 €
<b>BASE IMPOSABLE</b>			1477,27 €
<b>IMPORT IVA</b>			310,22 €
<b>TOTAL PRESSUPOST TORRE CÀRREGA</b>			1787,49 €

PLATAFORMA D'ATERRATGE			
PREU MATERIALS			
QUANTITAT	ARTICLE	PREU UNITARI	PREU TOTAL
0,72 m <sup>2</sup>	Planxa d'acer inoxidable de 5mm AISI 301 (s'inclou la planxa necessària per a fer el suport de les potes i les guies fixadores)	105,00 €/m <sup>2</sup>	75,60 €
0,8 m	Barra d'acer AISI-316 de 22 mm	17,92 €/mm	14,34 €
0,8 m	Tub 31x5 mm d'acer AISI-316	24,14 €/unitat	19,31 €
2	Frontissa d'acer zincat	3,85€	7,7 €
4 m	Cable elèctric per a exteriors amb protecció RVK i 2,5mm <sup>2</sup>	2,10€/m	8,40 €
2	Cargol ISO 7045 M4x10mm	0,29 €/unitat	0,62€
2	Femella ISO 4036 M4	0,09 €/unitat	0,18 €
16	Cargol ISO 10642 M5x16mm	0,31 €/unitat	4,96 €
16	Femella ISO 10642 M5	0,14 €/unitat	2,24 €
12	Femella ISO 10642 M6	0,19 €/unitat	2,28 €
4	Femella DIN 316 M8	0,71 €/unitat	2,84 €
4	Femella DIN 316 M24	4,36 €/unitat	17,44 €
12	Cargol ISO 14580 M6x20mm	0,40 €/unitat	4,8 €
2	Xapa de coure 1mm 50x140mm	0,30€/unitat	0,60 €
PREU FABRICACIÓ			
6 hores	Fabricació en taller METATÈCNIA (Vilanova i la Geltrú) de la plataforma d'aterratge. Inclou la fabricació de les potes	23,21€/hora	139,26 €

	regulables, de les guies fixadores i dels forats necessaris a la xapa d'acer)		
<b>1</b>	Servei de fabricació amb impressora 3D del con de càrrega i de la femella. Inclou el material plàstic necessari per la fabricació.	50 €	50 €
<b>6 hores</b>	Disseny i estudi mecànic de la plataforma d'aterratge realitzat per un Enginyer Mecànic.	12 €/hora	72 €
<b>BASE IMPOSABLE</b>		422,57 €	
<b>IMPORT IVA</b>		88,74 €	
<b>TOTAL PRESSUPOST PLATAFORMA D'ATERRATGE</b>		<b>511,31 €</b>	

<b>ESTACIÓ DE CÀRREGA</b>	
<b>CONCEPTE</b>	<b>PREU</b>
TOTAL PRESSUPOST TORRE CÀRREGA	1787,49 €
TOTAL PRESSUPOST PLATAFORMA D'ATERRATGE	511,31 €
<b>TOTAL PRESSUPOST ESTACIÓ DE CÀRREGA</b>	<b>2298,80 €</b>

## Bibliografia

### Libres

Nelson, J. (2003). *The Physics of Solar Cells*. PUBLISHED BY IMPERIAL COLLEGE PRESS AND DISTRIBUTED BY WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING CO. <https://doi.org/10.1142/p276>

Villalobos Jara, F. A. (2009). Fundaciones para turbinas eólicas costa afuera. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(1), 33–48. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732009000100002>

### Webs

Aerogenerador portátil para zonas aisladas. Consultat 30 de Setembre de 2017 a <http://ecoinventos.com/aerogenerador-portatil-para-zonas-aisladas/>

ATLAS DE RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA. (2000). Consultat 9 de Febrer de 2017 a [http://icaen.gencat.cat/web/.content/10\\_ICAEN/12\\_serveis/06\\_estrategia/enllacos\\_planificacioEnergetica/monografic12.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/12_serveis/06_estrategia/enllacos_planificacioEnergetica/monografic12.pdf)

Carbon Footprint Guidance Document. Consultat 25 Setembre de 2017 a [http://www.world-aluminium.org/media/filer\\_public/2013/01/15/fl0000169.pdf](http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/fl0000169.pdf)

Impactos ambientales de la producción de electricidad. Consultat 9 de Maig de 2017 a [http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17\\_Estudio\\_Impactos\\_MA\\_mix\\_electrico\\_APPA.pdf](http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17_Estudio_Impactos_MA_mix_electrico_APPA.pdf)

Johannes KÜHN, M., van Bussel, G., Dragt, dr J., ir GAM van Kuik, dr, ir Vugts, dr J., ir Wardenier, dr J., ... Garrad Hassan, M. DYNAMICS AND DESIGN OPTIMISATION OF OFFSHORE WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS. Consultat 7 Juny de 2017 a <http://www.duwind.tudelft.nl>

Mcmanus, M. C. Environmental Consequences of the Use of Batteries in Low Carbon Systems: the Impact of Battery Production. Consultat 20 Febrer de 2017 a [http://opus.bath.ac.uk/28733/1/McManus\\_Applied-Energy\\_2012.pdf](http://opus.bath.ac.uk/28733/1/McManus_Applied-Energy_2012.pdf)

Perfiles comerciales - Ferros Puig. Consultat 21 Setembre de 2017 a <http://www.ferrospuig.com/index.php/es/catalogo/productos/ferros/perfiles-comerciales/1020>

PRIMUS AIR OWNER'S MANUAL. Consultat 17 Abril de 2017 a [www.primuswindpower.com](http://www.primuswindpower.com)

Sutherland, H. J. (1999). On the Fatigue Analysis of Wind Turbines. Consultat 25 de Juny de 2017 a <http://www.ntis.gov/ordering.htm>

UCAR COMMUNITY PROGRAMS. Consultat 18 de Juny de 2017 a <http://www.comet.ucar.edu/>

## Annex A: Càlcul dels esforços produïts

### A.1 Diferents esforços a considerar

El disseny d'una torre destinada al suport d'un aerogenerador i d'una placa fotovoltaica passa per conèixer les diferents càrregues o esforços als que estaran sotmesos tots els seus elements mecànics, tant en règim estacionari com en règim dinàmic. En definitiva, el coneixement de càrregues permetrà determinar tant les dimensions i el material dels components de l'aerogenerador de tal forma que les tensions i deformacions sobre ells no superin els límits establerts. Així doncs, els materials utilitzats han d'estar dissenyats amb una resistència mecànica suficient per impedir el trencament de l'estructura així com produir unes deformacions acceptables. A part d'aquestes exigències hem de buscar un material el més lleuger possible així com unes mides contingudes per tal de fer la torre el màxim portable possible.

Les forces originades en la nostra estructura seran principalment dues:

- **Aerodinàmiques:** Les forces aerodinàmiques es deuen a la interacció de la velocitat del vent amb els diferents components de l'estructura com són el molí, la placa solar i els diferents elements propis de l'estructura. Aquest fenomen físic no és estacionari, ocasionat fonamentalment a causa de turbulència atmosfèrica i a més és no lineal ja que les forces de sustentació i arrossegament que es produeixen sobre els perfils de les pales de l'aerogenerador segueixen una llei no lineal amb l'angle d'atac i la velocitat del vent.
- **Inercials:** Les forces d'origen inercial estan produïdes pel moviment de l'estructura o l'efecte de la gravetat. En el nostre cas aquestes forces només seran produïdes per les pales de l'aerogenerador on es produeixen forces centrífugues provocades pel règim del gir del rotor eòlic i forces estàtiques provocades pel seu pes. Degut a que el pes de les aspes és molt reduït en comparació amb la resta d'elements de l'estructura s'ha menyspreat la força de reacció creada per aquestes.



## A.2 Càlcul dels esforços aerodinàmics

### A.2.1 Càlcul de la força del vent sobre el molí

Per al càlcul de les forces produïdes pel vent a l'estructura i a la placa solar s'han utilitzat els procediments establerts a l'*Eurocódigo*, en especial la norma *UNE-EN 1090 Ejecución de estructuras de acero y aluminio* utilitzant les següents consideracions.

L'equació general per al càlcul de la força del vent es la següent:

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot A_{ref} \cdot v_{ref}^2 \cdot C_f \quad \text{Eq. A. 1}$$

On:

**Paire** = Densitat de l'aire (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

**Aref** = Àrea d'impacte pel vent (m<sup>2</sup>)

**Vref** = Velocitat del vent (m/s)

**Cf** = Coeficient de forma

Pel que fa a la velocitat de referència del vent de la norma utilitza una velocitat de vent mitjana segons el país on es situï l'estructura, l'emplaçament i l'alçada sobre el nivell del mar. Degut que la nostra torre serà portàtil no podem utilitzar aquest procediment. Per tant es prendrà com a velocitat de referència la velocitat màxima que pot suportar el molí, aquesta velocitat està especificada en la fitxa tècnica del molí i és de 49,2 m/s. Així doncs aquesta serà la màxima ràfega de vent que la nostra estructura podrà suportar, independentment d'on estigui emplaçada.

Pel que fa al molí s'ha utilitzat la següent expressió:

$$F_R = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot \pi \cdot v_{vent}^2 \cdot R_{rotor}^2 \cdot C_t(\lambda) \quad \text{Eq. A. 2}$$

Degut a que les fórmules utilitzades en els càlculs són aproximades he decidit simular també els esforços mitjançant SolidWorks Flow, un complement del programa utilitzat en el disseny dedicat a la determinació de l'impacte d'un flux de líquid o gas en el model a estudiar. Per a cada cas de força es raonarà si és més convenient prendre els valors obtinguts amb SolidWorks Flow o els obtinguts amb els càlculs aquí descrits.

Per al càlcul de la força del vent que es produeix en el rotor del molí es necessitaran les dades aportades a la fitxa tècnica. Caldrà també la velocitat màxima de rotació que pot assumir el rotor, que segons m'ha informat el fabricant és de 1200RPM (126,66 rad/s).

AIR BREEZE/AIR 40/AIR 30/AIR X MARINE	
Energy	AIR 40/AIR Breeze: Approx. 40 kWh/mo at 5.5 m/s (12 mph) AIR 30/AIR X Marine: Approx. 30 kWh/mo at 5.5 m/s (12 mph)
Optimal Operating Environment	AIR 40/AIR Breeze: Quiet operation in low to moderate wind regimes AIR 30/AIR X Marine: Industrial applications in moderate to high wind regimes
Swept Area	1.07 m <sup>2</sup> (11.5 ft <sup>2</sup> )
Rotor Diameter	1.17 m (46 in)
Weight	5.9 kg (13 lb)
Shipping Dimensions	686 x 318 x 229 mm (27 x 12.5 x 9 in) 7.7 kg (17 lb)
Startup Wind Speed	AIR 40/AIR Breeze: 3.13 m/s (7 mph) AIR 30/AIR X Marine: 3.58 m/s (8 mph)
Voltage	12, 24 and 48 VDC
Turbine Controller	Microprocessor-based smart controller
Body	Cast aluminum (AIR Breeze/AIR X Marine: corrosion resistant paint)
Blades	(3) Injection-molded composite
Alternator	Permanent magnet brushless
Overspeed Protection	Electronic torque control
Survival Wind Speed	49.2 m/s (110 mph)
Mount	1.5 in schedule 40 pipe 48 mm (1.9 in) outer diameter
Warranty	5 year limited warranty

**Figura A.1.** Taula de característiques del molí (Font: Primus Wind Power )

Així doncs, l'expressió de la força resistent al vent d'un rotor eòlic es pot calcular de forma aproximada mitjançant:

$$FR = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot \pi \cdot v_{vent}^2 \cdot R_{rotor}^2 \cdot C_t(\lambda) \quad \text{Eq. A. 3}$$

**FR** = Força exercida al rotor (N)

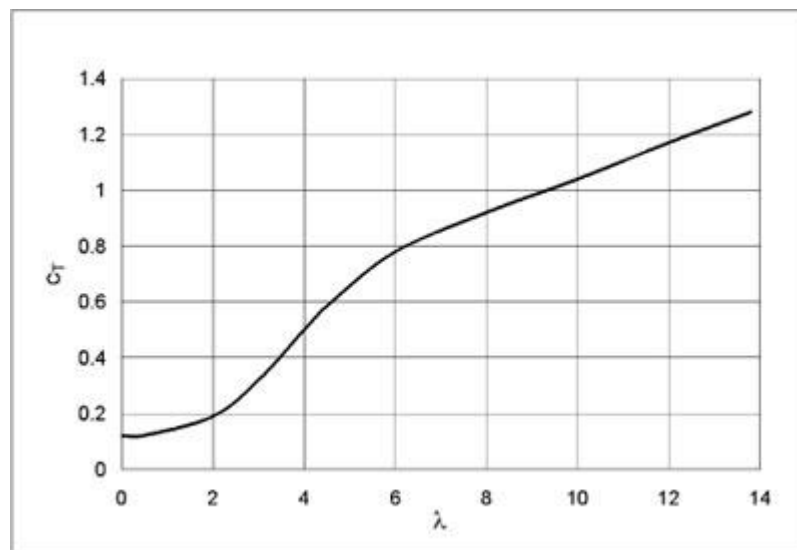
**Paire** = Densitat de l'aire (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

**Vvent** = Velocitat del vent considerada (49,2 m/s)

**Rrotor** = Radi del rotor (0,585 m)

**CT (λ)** = Coeficient d'empenta en funció de λ

$$\lambda = \frac{\Omega \cdot R_{rotor}}{v_{viento}} \left( \frac{\frac{rad}{s} \cdot m}{\frac{m}{s}} \right) \quad \text{Eq. A. 4}$$



**Figura A.2.** Coeficient d'empenta d'una turbina com una funció de les velocitats al rotor (Font: Kühn M., Dynamics and Design Optimisation of Offshore Wind Energy Conversion Systems PhD. Thesis, Delft University of Technology, Institute for Wind Energy, May 2001.)

Utilitzant les dades tècniques del molí es troba el resultat de la força resistent:

$$\lambda = 1.494$$

$$C_T = 0.17$$

$$FR = 269.889N$$

La següent taula mostra els resultats de la força obtinguts amb el SolidWorks Flow.

Força estudiada	Unitats	Valor	Valor mitjà	Valor mínim	Valor màxim
Velocitat mitjana	[m/s]	46.505	46.549	46.505	46.595
Força resultant	[N]	188.978	190.133	188.978	191.153
Força resultant (X)	[N]	188.959	190.112	191.129	188.959
Força resultant (Y)	[N]	0.124	0.220	0.075	0.359

**Taula A.1.** Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent pel generador eòlic (Font pròpia)

En aquest cas, s'han pres com a vàlids els resultats obtinguts amb els càlculs descrits, ja que el model realitzat en 3D s'ha realitzat de forma aproximada sense tenir-ne en compte els factors aerodinàmics.

### A.2.2 Càlcul de la força del vent sobre l'estructura de suport

$$FV(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot D_{cilindre} \cdot v_{vent(z)}^2 \cdot C_e \quad \text{Eq A. 5}$$

**FV(z)** = Força del vent exercida en l'estructura (cilindre) en funció de l'altura (N/m).

**$\rho_{aire}$**  = Densitat de l'aire (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

**D cilindre** = Diàmetre del cilindre(m)

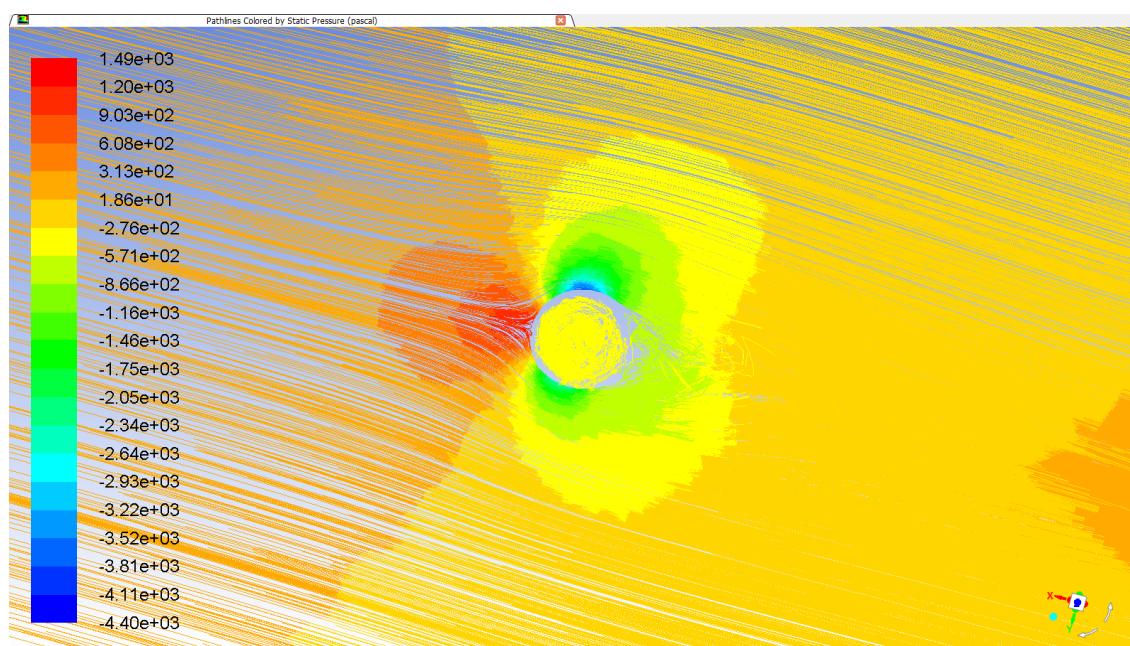
**V vent (z)** = Velocitat del vent en funció de l'altura (m/s)

**Ce** = Coeficient de forma

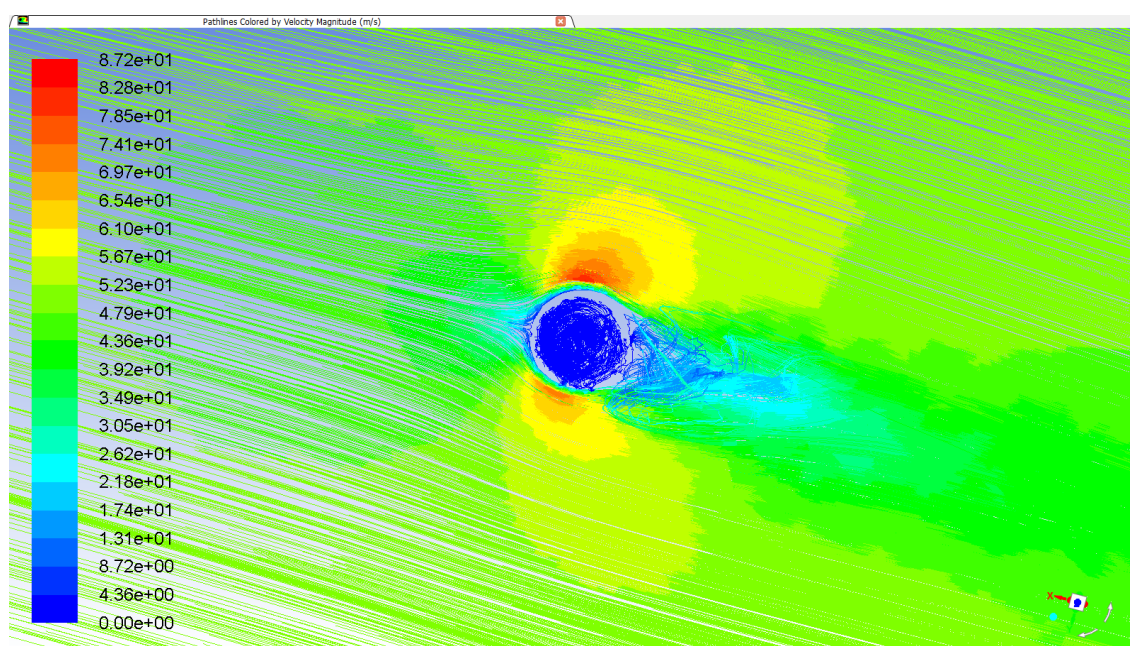
Per a determinar el coeficient de forma es poden utilitzar dos mètodes, el primer aproxima el coeficient mitjançant taules on s'indica el coeficient de forma per a diverses formes elementals. El segon mètode és aproximar-lo mitjançant el nombre de Reynolds. Ambdós mètodes són aproximats i no representen el valor real així que s'ha optat per simular directament el pas del vent utilitzant el SolidWorks Flow, prenent els resultats retornats per aquest programa com a vàlids.

Força estudiada	Unitats	Valor	Valor mitjà	Valor mínim	Valor màxim
<b>Velocitat mitjana</b>	[m/s]	49.687	49.687	49.686	49.688
<b>Força resultant</b>	[N]	285.013	285.806	283.201	287.799
<b>Força resultant (X)</b>	[N]	284.324	285.128	282.473	287.129
<b>Força resultant (Y)</b>	[N]	19.728	19.619	18.613	20.484

**Taula A.2.** Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent pels tubs que formen la torre  
(Font pròpia)



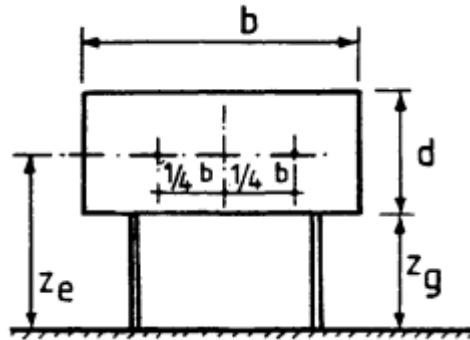
**Figura A.3.** Pressió provocada pel flux d'aire al voltant del tub que forma la torre (Pa)  
(Font pròpia)



**Figura A.4.** Velocitat del flux d'aire al voltant del tub que forma la torre (m/s) (Font pròpia)

### A.2.3 Càlcul de la força del vent sobre la placa solar

No s'especifica l'*Eurocódigo* cap procediment de càlcul relacionat amb les plaques solars així que el procediment de càlcul més semblant i que assegura un resultat més desfavorable pel que fa a la resistència de l'estructura enfront del vent es tractar a la placa solar com si fos un panell publicitari com el de la figura.



**Figura A.5.** Esquema de les variables per al procediment de càlcul (Font: UNE-ENV\_1991-2-4)

El coeficient de força per aquest cas és:

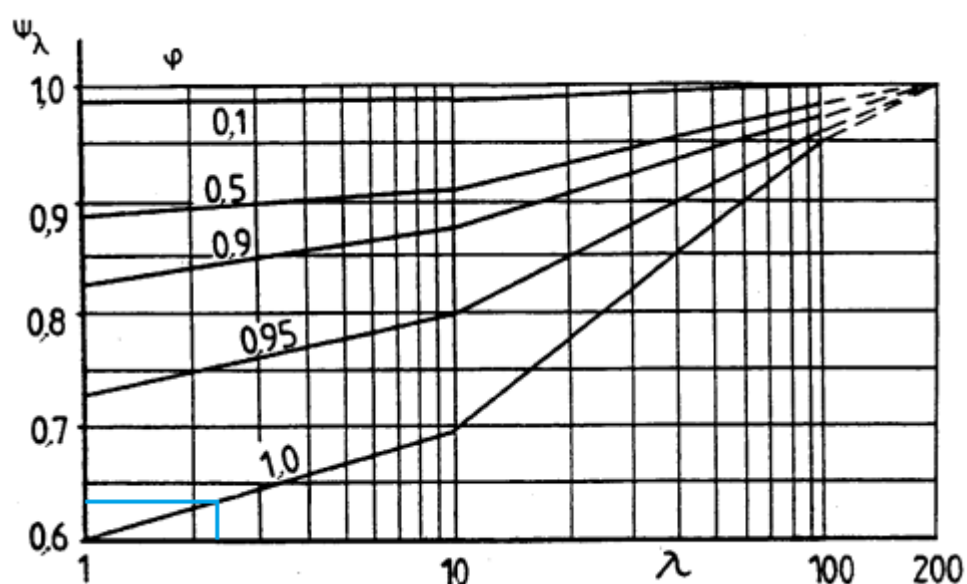
$$c_f = 2,5 \cdot \gamma \quad \text{Eq. A. 6}$$

On  $\gamma$  es el factor de reducció d'esveltesa.

El factor de reducció d'esveltesa se pot calcular a partir de l'esveltesa ( $\lambda$ ) i de la solidesa que en aquest cas és 1.

$$\lambda = \frac{b}{d} \quad \text{Eq. A. 7}$$

Si s'introdueixen les dimensions de la placa a la fórmula s'obté un resultat de  $\lambda = 2.217$ .



**Figura A.6.** Gràfic factor d'esveltesa - esveltesa (Font: UNE-ENV\_1991-2-4)

Amb l'esveltesa trobem el factor d'esveltesa d'aproximadament 0.63 i ja és pot trobar el coeficient de força:

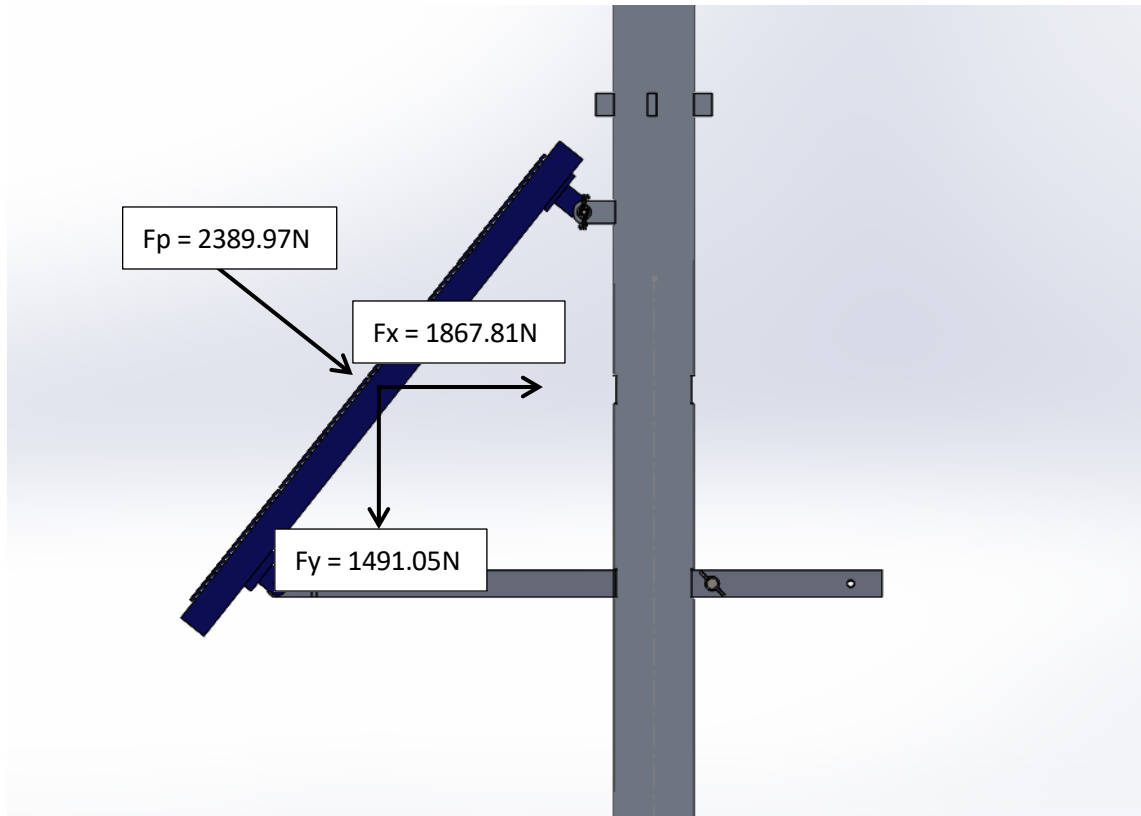
$$c_f = 2,5 \cdot 0.63 = 1.575$$

Utilitzant l'equació A.1 podem obtenir el valor de la força perpendicular a la placa solar en cas que aquesta estigui situada perpendicular a la superfície del sòl.

$$F_v = 2386.97\text{N}$$

Per tal d'obtenir els valors amb la placa inclinada a 51.4 graus, que es la inclinació real on el vent realitzarà una major força, he suposat que aquesta és la mateixa que l'anterior per després descompondre-la en els eixos x i y.



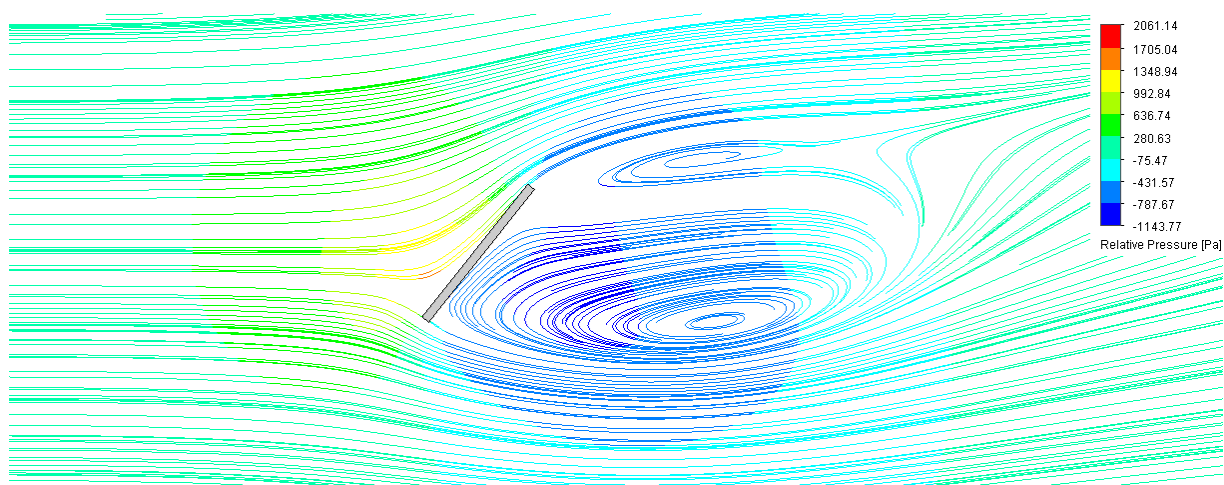


**Figura A.7.** Diagrama de forces a la placa obtingut amb el procediment de càlcul (Font pròpia)

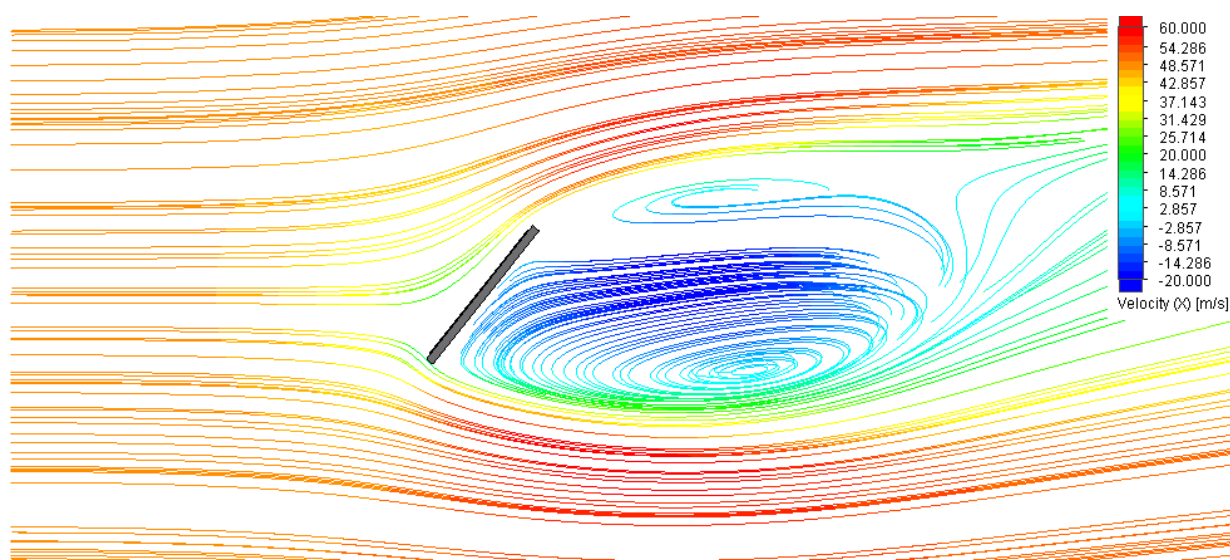
Ja que aquest mètode és aproximat i no representa la realitat he pres com a vàlids els següents resultats obtinguts amb SolidWorks Flow.

Força estudiada	Unitats	Valor	Valor mitjà	Valor mínim	Valor màxim
Velocitat mitjana	[m/s]	48.822	48.813	48.822	48.786
Força resultant	[N]	1834.117	1821.301	1795.180	1834.117
Força resultant (X)	[N]	1410.271	1400.415	1410.271	1380.289
Força resultant (Y)	[N]	-1172.655	-1164.463	-1172.655	-1147.813

**Taula A.3.** Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent per la placa solar (Font pròpia)



**Figura A.8.** Pressió del flux d'aire al voltant de la placa solar (Pa) (Font pròpia)

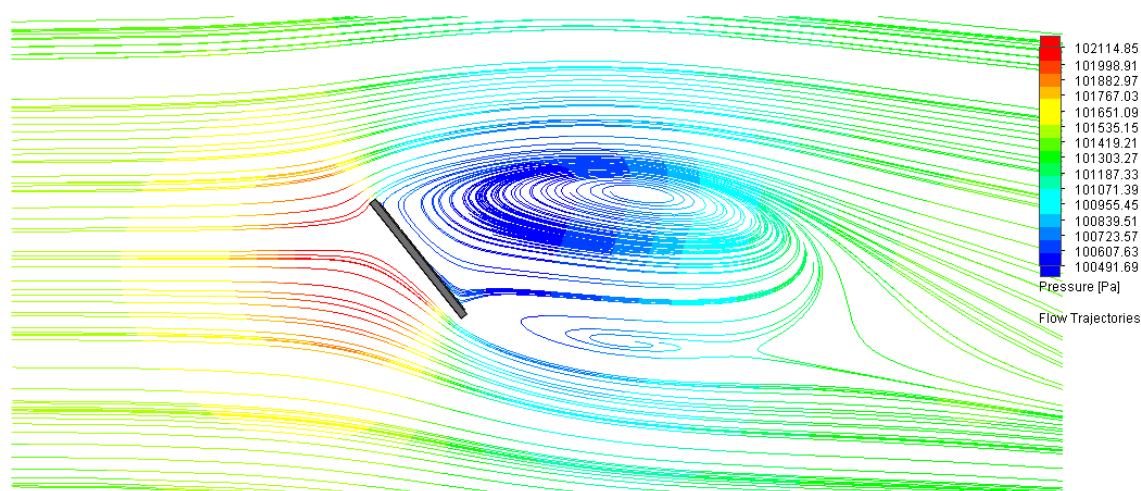


**Figura A.9.** Velocitat del flux d'aire al voltant de la placa solar (m/s) (Font pròpia)

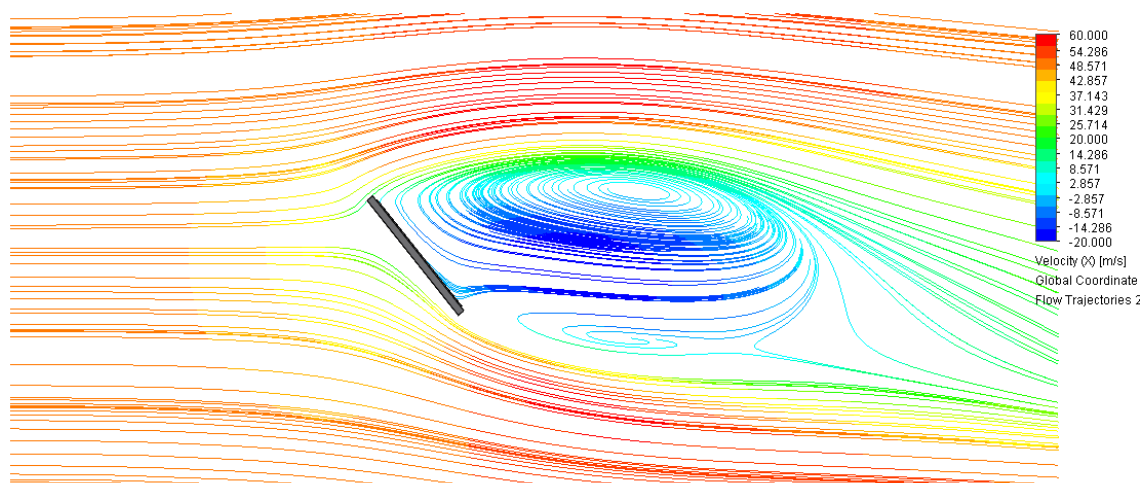
Degut a que la placa és l'element que més repercuteix sobre les forces generades en l'estructura, he decidit simular també les forces quan el vent bufa en sentit contrari. D'aquesta manera quan es realitzin els càlculs per determinar el dimensionament de la torre és podran comprovar ambdós casos per tal de veure el més desfavorable.

Força estudiada	Unitats	Valor	Valor mitjà	Valor mínim	Valor màxim
Velocitat mitjana	[m/s]	48.348	48.348	48.348	48.348
Força resultant	[N]	1657.919	1656.875	1655.670	1658.051
Força resultant (X)	[N]	1342.910	1342.009	1340.999	1343.024
Força resultant (Y)	[N]	972.259	971.724	971.063	972.356

**Taula A.4.** Resultats obtinguts amb SolidWorks Flow simulant el pas del vent en sentit oposat per la placa solar  
(Font pròpia)



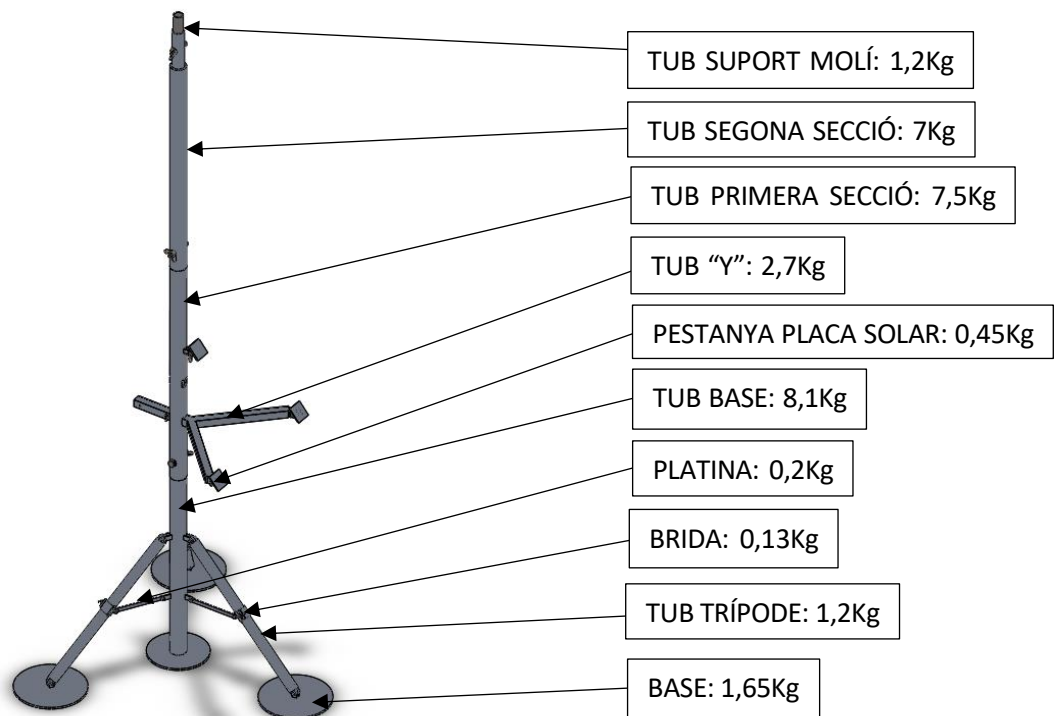
**Figura A.10.** Pressió del flux d'aire en sentit oposat al voltant de la placa solar (Pa) (Font pròpia)



**Figura A.11.** Velocitat del flux d'aire al voltant de la placa solar (m/s) (Font pròpia)

### A.3 Diagrama de Forces

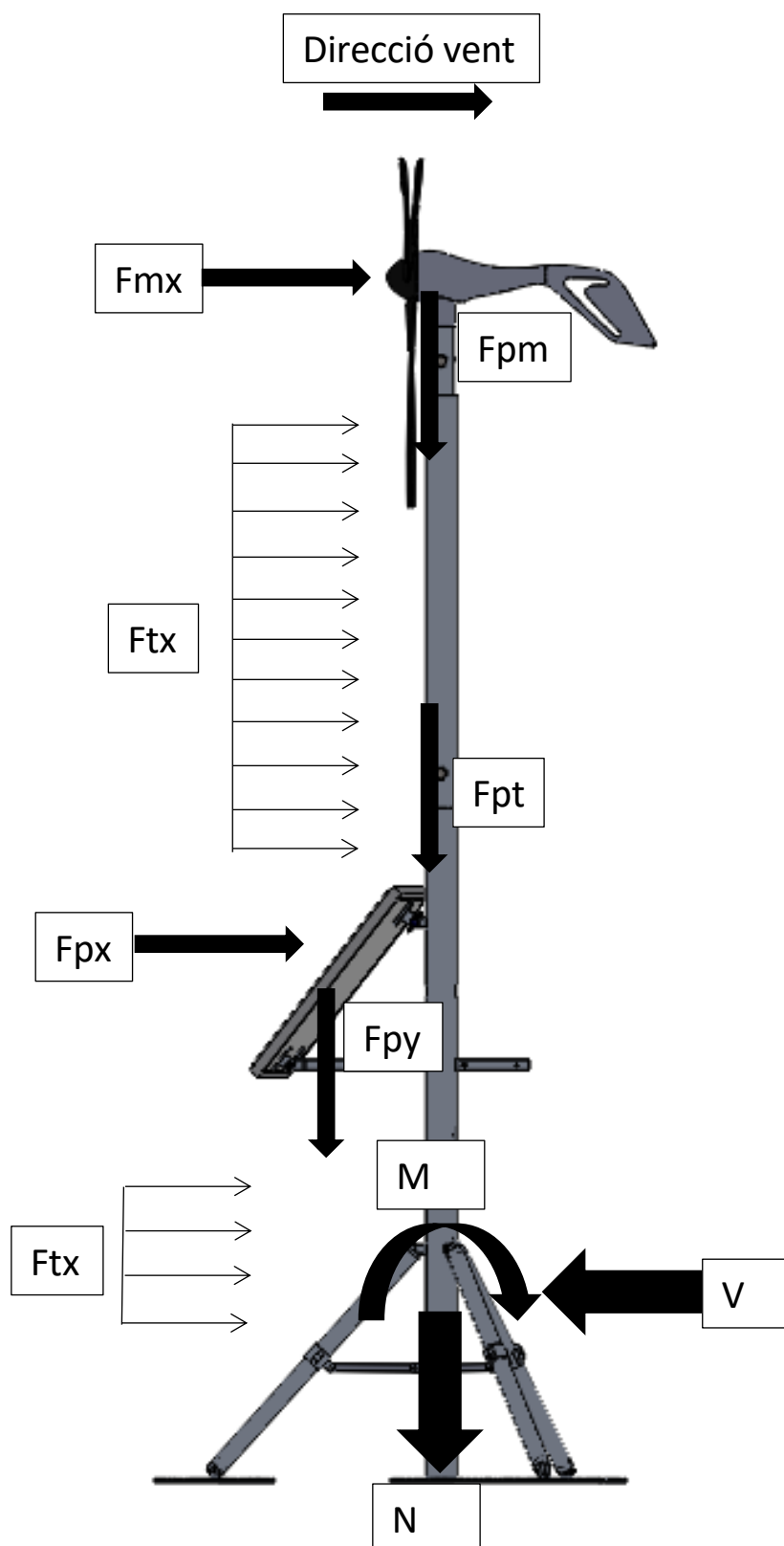
Per tal de realitzar el diagrama de forces de l'estructura necessitem primer el pes dels diferents elements que conformen l'estructura com és el molí, les diferents parts i suports de la torre i la placa solar. El pes del molí i de la placa solar s'obtidran a partir de les respectives fitxes tècniques i el pes dels elements de la torre s'obtidran mitjançant els models del SolidWorks.



**Figura A.12.** Pes de tots els components que formen la torre (Font pròpia)

El molí té un pes de 5,9Kg i la placa solar té un pes de 11,8Kg. Si comptem només el pes dels components estructurals tenim un pes de 36,3Kg i la torre amb el molí i la placa pesarà 54Kg.

A continuació es representa un diagrama amb les forces que actuen sobre la torre en situacions de vent.



**Figura A.13.** Representació de les forces que intervenen a la torre (Font pròpia)

La Figura 3.11 representa la distribució de les càrregues que existeixen sobre la torre. Per als càlculs de les dimensions de la torre s'utilitzaran aquestes càrregues a la base de la torre, per això a continuació s'explicaran les abreviatures utilitzades en la figura anterior:

Degut a que les forces varien segons la direcció del vent, s'utilitzarà la metodologia de:

- Direcció vent (+): Direcció d'esquerra a dreta, segons està mostrat a la figura anterior
- Direcció vent (-): Direcció de dreta a esquerra, en sentit contrari a com està mostrat a la figura anterior
- Els moments es calcularan seguint la definició i llei de moments

El valor del moment  $M$  d'una força es pot obtenir també com:

$$M = F \cdot d \quad \text{Eq. A. 8}$$

On:

- $M$  és el mòdul del moment d'una força  $F$  que s'aplica sobre un cos. La seva unitat en el S.I. és el newton per metre ( $N \cdot m$ ).
- $F$  és el mòdul de la força que s'aplica sobre el cos. La seva unitat en el S.I. és el newton.
- $d$  és la distància entre l'eix de gir i la recta sobre la qual descansa la força  $F$ . La seva unitat en el S.I. és el metre.

La llei de moments estableix que, per tal que una estructura resti en equilibri el sumatori de moments en un punt d'aquesta ha de resultar en 0.

$$\sum M_{base} = 0 \quad \text{Eq. A. 9}$$

A continuació es defineixen les forces i moments indicats a la Figura 3.11.

**Fmx:** Força horitzontal causada pel vent en impactar contra les aspes del molí.

$$Fmx = \pm 269,89N$$

**Fpm:** Força vertical causada pel pes del molí.

$$Fpm = 5,9Kg \cdot -9,81 \frac{m}{s^2} = -57,88N$$

**Ftx:** Força horitzontal causada pel vent en impactar contra els tubs que conformen la torre.

$$Ftx = \pm 284,31N$$

**F<sub>tp</sub>:** Força vertical causada pel pes de la torre.

$$F_{tp} = 36,3Kg \cdot -9,81 \frac{m}{s^2} = -356,10N$$

**F<sub>px</sub>:** Força horitzontal causada pel vent en impactar contra la placa solar.

$$F_{px} (\text{direcció } +) = 1410,27N$$

$$F_{px} (\text{direcció } -) = -1342,91N$$

**F<sub>py</sub>:** Sumatori del mòdul vertical de força causada pel vent en impactar contra la placa solar més la força causada pel pes de la placa. Serà de valor negatiu (direcció sòl) si el vent bufa en direcció (+). En cas de que bufi en direcció (-) aquesta serà positiva (direcció cel).

Al pes de la placa se l'hi ha sumat el pes de les 3 pestanyes ja que hi aniran soldades.

$$\text{Força pes placa} = 13,15Kg \cdot -9,81 \frac{m}{s^2} = -129,00N$$

$$F_{py} (\text{direcció } +) = -1172,66N - 129,00N = -1301,66N$$

$$F_{py} (\text{direcció } -) = 972,26N - 129,00N = 843,26N$$

**N:** Càrrega vertical de compressió causada pel pes propi de tota l'estructura i pel vent a la placa.

$$N (\text{direcció } +) = -57,88N - 356,10N - 1301,66N = -1715,64N$$

$$N (\text{direcció } -) = -57,88N - 356,10N + 843,26N = 429,28N$$

**V:** Força de reacció horitzontal causada per l'impacte del vent sobre tota l'estructura. Anirà en sentit contrari a la direcció del vent.

$$V (\text{direcció } +) = -(269,89N + 284,31N + 1410,27N) = -1984,47N$$

$$V (\text{direcció } -) = -(-269,89N - 284,31N - 1342,91N) = 1917,11N$$

**M:** Moment flector causat per l'impacte del vent sobre tota l'estructura. Es considerarà menyspreable el flector generat per una possible desviació del centre de gravetat del molí. Pot actuar en qualsevol direcció.

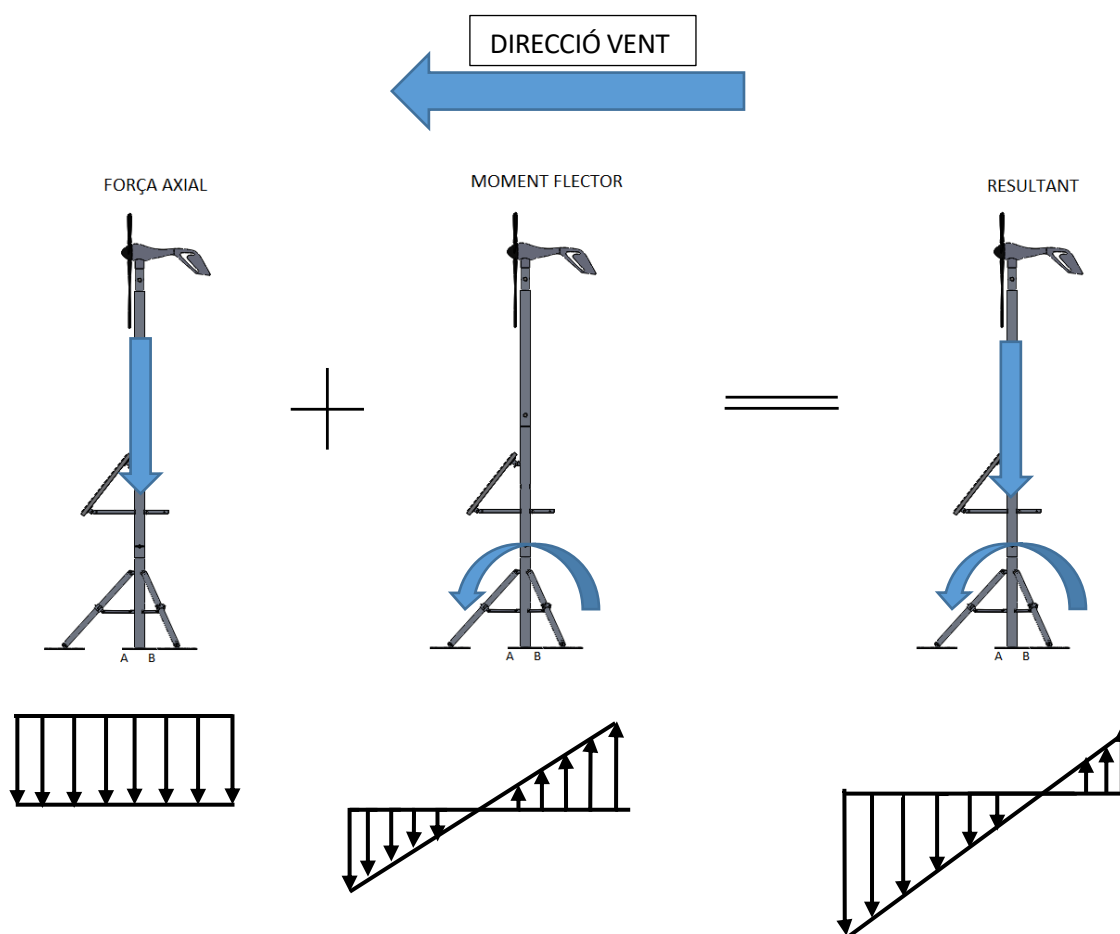


$$\begin{aligned}M (\text{direcció } +) &= (F_{py} \cdot \text{distància placa} - \text{cilindre}) - (F_{px} \cdot \text{distància placa} - \text{base}) \\&\quad - \left( F_{tx} \cdot \frac{\text{distància tubs}}{2} \right) - (F_{mx} \cdot \text{distància molí} - \text{base}) \\&= (1301,66 \cdot 0,320) - (1410,271 \cdot 1,580) - \left( 284,320 \cdot \frac{3,560}{2} \right) \\&\quad - (269,89 \cdot 3,750) = -3315,65 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M (\text{direcció } -) &= -(F_{py} \cdot \text{distància placa} - \text{cilindre}) + (F_{px} \cdot \text{distància placa} - \text{base}) \\&\quad + \left( F_{tx} \cdot \frac{\text{distància tubs}}{2} \right) + (F_{mx} \cdot \text{distància molí} - \text{base}) \\&= -(843,26 \cdot 0,320) + (1342,91 \cdot 1,580) + \left( 284,320 \cdot \frac{3,560}{2} \right) \\&\quad + (269,89 \cdot 3,750) = 3370,13 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Com podem veure en els càlculs la torre no sempre estarà sotmesa a compressió degut a que els valors de N no són ambdós negatius. Per tant, si el vent bufa en direcció (-) la torre volarà i es tornarà. Ja es pot observar que pel disseny final necessitarem un element que ens faci d'ancoratge al terra com podrien ser uns vents o pes afegit a la base.

Per l'altre costat el moment flector degut a la força del vent, faran que la base es trobi sotmesa a flexió. D'aquesta manera un dels costats de la torre estarà sotmès a tracció mentre que l'altre a compressió. A més a més com que la força del vent no bufarà sempre del mateix costat, provocarà que no sempre el mateix costat estigui sotmès a tracció i l'altre a compressió, sinó que variarà amb el temps. Quan un dels costats està sotmès a compressió deguda al moment flector, la càrrega axial provocarà un increment de la tensió, sent aquesta la situació més desfavorable. En canvi quan la torre està sotmesa a tracció deguda al moment flector l'efecte de la càrrega axial contrarestarà aquest efecte disminuint el valor de la tensió com es mostra a la "figura 10".



**Figura A.14.** Diagrama de moments flectors a la torre (Font pròpia)

$\sigma = \frac{N}{A_c}$ <p>FORÇA DE COMPRESSIÓ</p>	$\sigma = \frac{M_{MAX} \cdot Y_{MAX}}{I} \pm \frac{N}{A_c}$ <p>A.FORÇA DE COMPRESSIÓ</p> <p>B.FORÇA DE TRACCIÓ</p>	$A. \sigma = \frac{M_{MAX} \cdot Y_{MAX}}{I} + \frac{N}{A_c}$ $B. \sigma = \frac{M_{MAX} \cdot Y_{MAX}}{I} - \frac{N}{A_c}$
---	---	---

Observem que per a aquest cas el punt més conflictiu seria el punt B, ja que se sumen la força de compressió deguda a càrrega axial i el moment flector. En el punt A la força de tracció deguda al moment flector es contraresta amb la de compressió per la força axial, sent la de tracció major. Per això observem que el punt B serà el més conflictiu i aquest cas en el qual coincideixen les 2 a compressió serà el que cal estudiar.

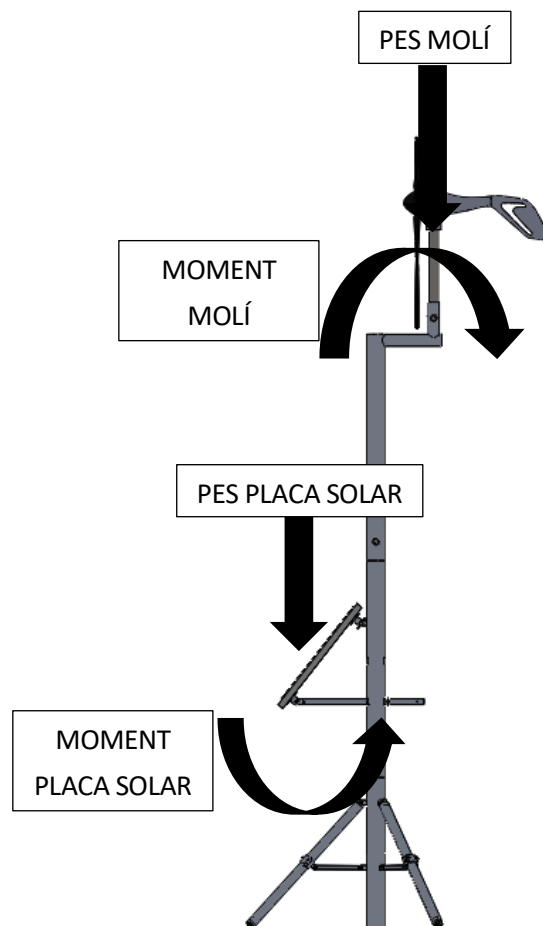
## A.4 Excentricitat del molí

En aquest apartat s'estudiarà si és més convenient realitzar l'estructura amb una excentricitat al molí o deixar-lo vertical a la torre. Primer de tot calcularem el valor l'excentricitat per tal d'obtenir un moment nul a la base en cas que la velocitat del vent sigui nul·la. Per a fer-ho aplicarem la llei de moments d'inèrcia a la base igualats a zero.

La "imatge 7 annex III" representa la distribució de les càrregues que existeixen sobre la torre. Per als càlculs de les dimensions de la torre s'utilitzaran aquestes càrregues a la base de la torre, per això a continuació calcularem els valors de les forces normals (N), tallants (V) i moments flectors (M) a la base.

Les úniques forces que actuen amb excentricitat a la base amb velocitat de vent zero són les generades per el pes a de la placa solar amb el braç de suport i el molí amb el tub de suport.

El pes de la placa solar són 11,8Kg i el de les pestanyes 1,35Kg. El pes del molí es de 5,9kg i el del tub de suport és de 3,2Kg.



**Figura A.15.** Moments generats amb excentricitat al molí (Font pròpia)

Seguint el criteri on els moments que conformen un sentit horari prendran un signe negatiu tenim la següent equació:

$$(13,150 \cdot 9,810 \cdot 0,320) - (9,100 \cdot 9,810 \cdot x) = 0$$

On  $x$  serà l'excentricitat entre el punt mig del molí i el tub central de la torre amb un valor de 0,462m.

Com ja s'ha comentat abans, aquesta excentricitat ens aportarà dos beneficis aparents, un es evitarà una possible ombra provocada per les aspes del molí sobre la placa solar quan el sol està proper al zenit. La segona i més important és compensar pel pes degut a la placa solar, per tal de dotar d'una major estabilitat a la torre amb velocitat de vent nul·la. Veiem ara com afectarà l'excentricitat quan hi ha vent, seguint la regla de sumatori de moments a la base:

$$\begin{aligned} M (\text{direcció } +) &= (F_{py} \cdot \text{distància placa} - \text{cilindre}) - (F_{px} \cdot \text{distància placa} - \text{base}) \\ &\quad - \left( F_{tx} \cdot \frac{\text{distància tubs}}{2} \right) - (F_{mx} \cdot \text{distància molí} - \text{base}) \\ &= (1301,66 \cdot 0,320) - (1410,271 \cdot 1,580) - \left( 284,320 \cdot \frac{3,560}{2} \right) \\ &\quad - (269,89 \cdot 3,750) - (89,271 \cdot 0,462) = -3356,893Nm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M (\text{direcció } -) &= -(F_{py} \cdot \text{distància placa} - \text{cilindre}) + (F_{px} \cdot \text{distància placa} - \text{base}) \\ &\quad + \left( F_{tx} \cdot \frac{\text{distància tubs}}{2} \right) + (F_{mx} \cdot \text{distància molí} - \text{base}) \\ &= -(843,26 \cdot 0,320) + (1342,91 \cdot 1,580) + \left( 284,320 \cdot \frac{3,560}{2} \right) \\ &\quad + (269,89 \cdot 3,750) - (89,271 \cdot 0,462) = 3328,886Nm \end{aligned}$$

L'excentricitat només ajuda en el cas de vent en direcció (-) degut a que el moment que genera és horari. En el cas de vent en direcció (+) es generarà un moment a la base més gran.

Amb els resultats es poden veure els avantatges i inconvenients que resulten de la inclusió de l'excentricitat:

- Avantatges: Estructura més estable amb velocitat de vent zero, evita possible ombra a la placa
- Inconvenients: Major cost de fabricació, major dificultat en el transport, menor resistència degut a la soldadura, no aporta cap avantatge en situacions de vent

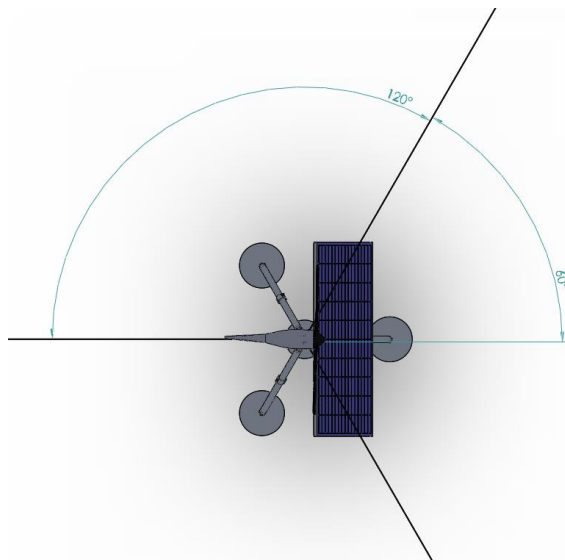
Degut a que l'estructura anirà enfocada a posicionar-se en zones amb alta concentració de vents, les situacions de vent zero seran gairebé nul·les i per tant, l'avantatge principal que ens aporta aquest element estructural no compensa els inconvenients així que he optat per dissenyar l'estructura completament vertical com s'ha pogut veure en els apartats anteriors.

## A.5 Càlcul tirants i ancoratges

En aquest apartat es calcularà la tensió màxima a la que podran estar sotmesos els tirants i els ancoratges per tal de dimensionar-los d'acord amb les exigències de la nostra estructura. El disseny dels tirants es calcularà seguint la normativa *ENV 1933-3-1: Proyecto de estructuras de acero. Parte 3-1: Torres, mástiles y chimeneas. Torres y mástiles*. Aquesta norma estableix que:

- El tensionament dels cables ha de ser tal que, quan s'apliquin totes les accions permanents, l'estructura adopta el perfil geomètric requerit i la distribució de l'estrès.
- Si l'ajustament de la tensió dels cables no està prevista, els efectes de les possibles diferents càrregues de pretensió hauran de ser considerades al disseny de l'estructura.

La disposició de tirants que proporcionarà un millor balanç entre facilitat de muntatge i estabilitat serà de 3 tirats separats  $120^\circ$  entre sí. Aquesta disposició és la més utilitzada i s'emptra habitualment en antenes per a telecomunicacions i torres per a cables d'alta tensió. Com s'ha pogut comprovar les situacions més crítiques per a l'estructura seran les de vent perpendicular a la placa solar degut a que aquesta presenta una major resistència. És per aquest motiu que s'ha decidit posicionar dos tirants a la part davantera situats a  $60^\circ$  del pla perpendicular a la placa solar tal i com es pot observar a la següent imatge.



**Figura A.16.** Disposició dels tirants (Font pròpia)

Crec que aquesta serà la disposició més òptima ja que per als vents provinents de dreta a esquerra a la imatge els dos tirants davanter suportaran la força provocada pels esmentats vents. Com s'ha calculat abans, els vents posteriors (d'esquerra a dreta a la imatge) provoquen una força a la placa

solar en direcció al cel. Precisament evitar el tombament de la torre en aquestes situacions és un dels motius per els quals són necessaris els tirants. Els dos tirants davanters contrarestaran aquesta força d'empenta a la placa solar i el tercer restant contrarestarà la resta de forces assegurant l'estabilitat de la torre en qualsevol situació de vent.

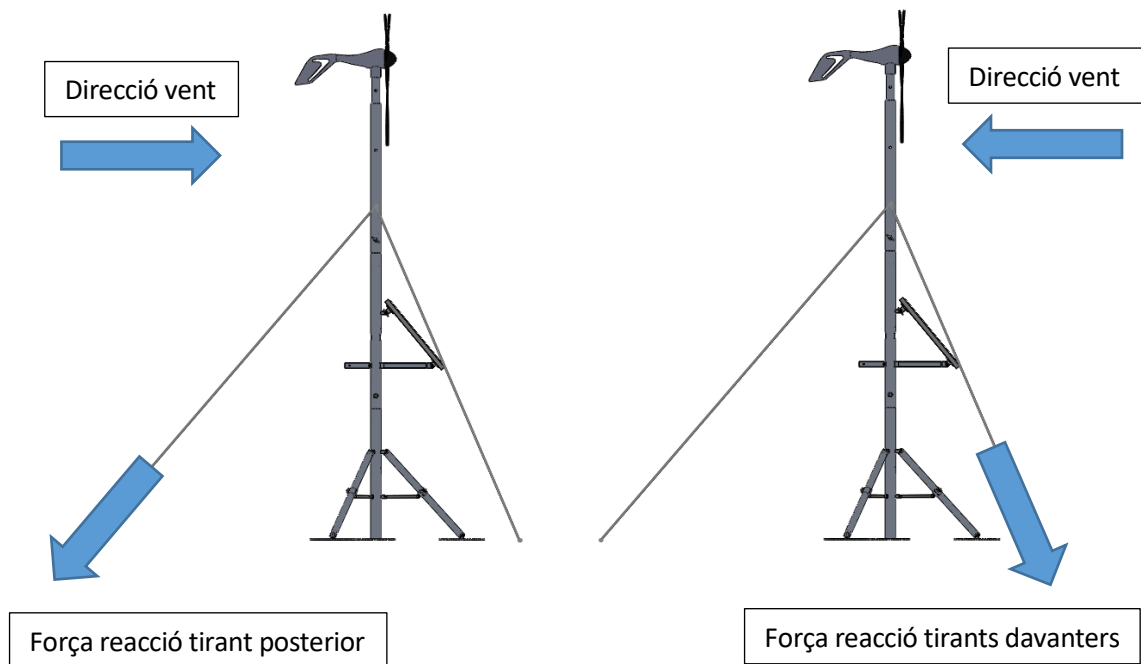
Per a l'alçada dels tirants es seguirà la següent taula extreta del document "Recommendations for Guyed Masts, International Association for Shell and Spatial Structures, 1981". Per a la longitud de l'ancatge es seguirà la recomanació del mateix document de situar els ancoratges a una distància equivalent al 70% de l'alçada de la torre.

Sabent que l'estructura mesura 3,16m, els tirants s'hauran de fixar a una alçada d'uns 2,5m. La distància de la torre on s'hauran d'amarrar aquests tirants serà 2,21m que corresponen amb el 70% de l'alçada total de l'estructura.

Alçada de la torre	Alçada per a la instal·lació del 1er tirant	Alçada per a la instal·lació del 2on tirant	Alçada per a la instal·lació del 3er tirant	Alçada per a la instal·lació del 4rt tirant
3	2,5	-	-	-
6	5,4	2,7	-	-
9	8,1	4,0	-	-
12	11,0	6,0	-	-
15	14,0	9,0	4,5	-
18	17,0	11,0	5,6	-
21	20,0	15,0	10,0	5,0

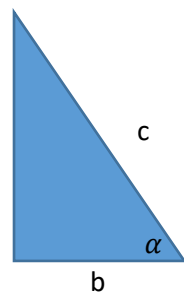
**Taula A.5.** Relació entre l'alçada de la torre i l'alçada d'instal·lació dels tirants (Font: Recommendations for Guyed Masts, International Association for Shell and Spatial Structures, 1981)

Amb aquestes dades ja es pot passar a calcular la força a la qual estaran sotmesos els tirants en les condicions de vent indicades a la figura A.15. Per tal de simplificar els càlculs suposarem que tota la força de suport la realitza el vent posterior en cas que el vent bufi d'esquerra a dreta segons imatge i els dos vents davanters en cas que el vent bufi de dreta a esquerra seguint la figura A.15.



**Figura A.17.** Força de reacció dels tirants segons direcció del vent (Font pròpia)

Es començarà amb el càlcul de la força a la qual està sotmesa el tirant posterior. Com s'ha calculat a l'apartat 7.3 la força horitzontal que provoca el vent amb velocitat màxima admesa i la direcció indicada són 1917,11N, aquesta càrrega l'haurà de suportar íntegrament el tirant posterior. Per poder calcular la tensió total que suportarà el conjunt anella – tirant – àncora primer s'ha de calcular l'angle que formarà aquest amb el sòl. Sabent les mesures dels dos costats catets del triangle format per la torre i el tirant es pot calcular l'angle de la següent manera:



$$\tan(\alpha) = \frac{a}{b} = \frac{2,5}{2,21} = 1,13 \quad \text{Eq. A. 10}$$

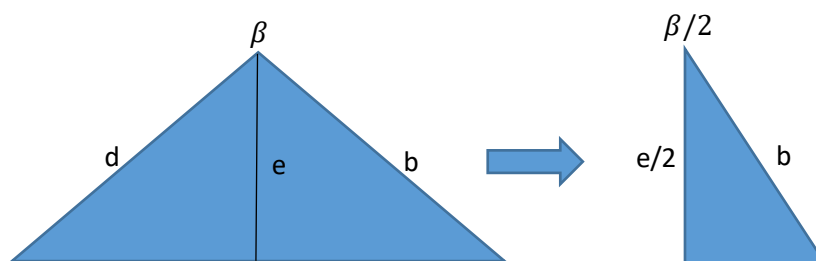
$$\tan^{-1}(1,13) = 48,52^{\circ}$$

Per extreure la força total que realitzarà el tirant s'utilitzarà la llei de descomposició de forces. El triangle de la figura superior representa un esquema de les forces on el catet "b" serà igual a la força horitzontal total que realitzarà el vent sobre l'estructura i la hipotenusa "c" representarà la força total del tirant. Seguint la llei trigonomètrica del cosinus tenim que:

$$\cos(\alpha) = \frac{b}{c} \quad \text{Eq. A. 11}$$

$$c = \frac{b}{\cos(\alpha)} = \frac{1917,11}{\cos(48,52)} = 2894,36 \text{ N}$$

Es realitzarà el mateix càlcul per als dos tirants davanters i sentit del vent frontal. Degut a que en aquest cas la força no és paral·lela a la direcció del tirant s'hauran de realitzar dues descomposicions de força. El següent esquema de forces representa una vista des de la planta de la torre on els costats "d" i "b" representen la força horitzontal a suportar per cadascun dels dos tirants i l'alçada "e" representa la força del vent horitzontal en aquest sentit, calculada a l'apartat 7.3 i de valor 1984,47 N. L'angle  $\beta$  serà el mateix que el de la separació entre tirants, és a dir  $120^\circ$ . Degut a que la distribució de forces serà simètrica podem simplificar l'esquema eliminant un dels tirants i dividint la força horitzontal.

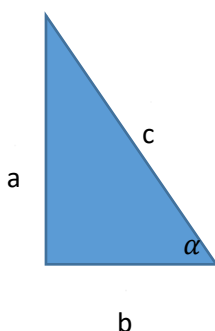


La força horitzontal a la que estaran sotmesos cadascun dels dos tirants davanters serà:

$$\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{c/2}{b}$$

$$b = \frac{c/2}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{1984,47/2}{\cos(60)} = 1984,47 \text{ N}$$

Seguint el procediment utilitzat per al tirant posterior podem extreure la força total que haurà de suportar cada tirant:



$$\cos(\alpha) = \frac{b}{c}$$

$$c = \frac{b}{\cos(\alpha)} = \frac{1984,47}{\cos(48,52)} = 2996,06 \text{ N}$$



Com podem veure els tres tirants estaran sotmesos a una força molt similar rondant els 3kN, això ens indica que la distribució d'aquests es correcta i que cap estarà sotmès a una sobretensió que podria ser perillosa. Més endavant es calcularà el material i dimensions del cable i de les àncores per tal que puguin suportar les forces esmentades.

## Annex B: Dimensionament de la torre

L'aspecte que més es tindrà en compte a l'hora de dimensionar la torre serà la tensió d'estat límit o esforç de ruptura. Es calcularà analíticament les tensions que es produeixen en les zones més crítiques de l'estructura. D'altra banda, s'utilitzarà el SolidWorks per a comprovar les tensions que es produeixen en altres zones de més difícil càlcul com ara poden ser en les unions de la placa solar amb la torre.

### B.1 Dimensionament del cilindre principal



**Figura B.1.** Cilindre principal de la torre (Font pròpia)

Segons la norma UNE-EN 1090 per tal que la torre agunti les tensions produïdes pel vent s'ha de complir la següent condició d'estat límit:

$$\gamma_f \cdot F_k \leq \frac{f_k}{\gamma_m} \quad \text{Eq. B. 1}$$

On:

$\gamma_f \cdot F_k$ : És la tensió màxima  $\sigma_{\max}$  multiplicada pel factor de la hipòtesis de càrrega o tensió admissible  $\sigma_{\text{adm}}$ .

$f_k$ : És el valor de la tensió de límit elàstic del material.

$\gamma_m$ : És el valor del factor de seguretat pels materials. S'ha determinat un valor  $\gamma_m = 1,5$  seguint a norma UNE-EN 1090.

Així el resultat haurà de ser menor que la tensió límit del material perquè l'estructura compleixi amb els requisits.

$$\sigma_{ADM} \leq \frac{fy}{1,5} \quad \text{Eq. B. 2}$$

Amb el moment màxim, el qual es dóna a la base de la torre, es poden fer les primeres comprovacions de l'estructura. D'aquesta manera s'ha de verificar que la tensió màxima soferta ( $\sigma_{MAX}$ ) no superi la tensió límit del material ( $fy$ ), dividida pel factor de seguretat com es mostra en l'equació. Per trobar aquesta tensió màxima s'empraran les equacions de Navier:

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_{MAX} \cdot Y_{MAX}}{I_x} \pm \frac{N}{A_c} \quad \text{Eq. B. 3}$$

$\sigma_{MAX}$  = Tensió màxima soferta per l'estructura (MPa)

$M_{MAX}$  = Moment màxim, situat a la base de la torre (N.mm)

$Y_{MAX} = D_{ext} / 2 = R_{ext}$  (mm)

$I_x$  = Moment d'inèrcia en l'eix x (mm<sup>4</sup>)

$N$  = Esforç axial (N)

$A_c$  = Àrea tallant de la torre (mm<sup>2</sup>)

Per als càlculs es realitzarà una taula d'Excel en la qual variant les dimensions de l'espessor i diàmetre de la torre s'obtingui un valor de la tensió màxima que serveixi per comparar amb la tensió del límit elàstic i d'aquesta manera determinar els valors de la dimensió vàlids. A continuació es mostraran els càlculs per als valors explicats anteriorment.

**M<sub>MAX</sub>:** Com ja hem expressat el moment màxim de la torre es trobarà a la base de la mateixa. A més el moment per al càlcul de resistència s'haurà de realitzar amb els valors de vent màxims. En el apartat anterior ja s'ha trobat el seu valor de:

$$M_{MAX} = 3370,13 \text{ Nm}$$

**Y<sub>MAX</sub>:** És un valor que variarà en funció del diàmetre exterior de la torre, per la qual cosa serà un dels valors variables que es modificaran per obtenir les correctes dimensions i serà igual a:  $D_{ext}/2$  (mm)

**I:** El moment d'inèrcia de la torre, que es correspon amb el moment d'inèrcia d'un cercle buit és un valor que també depèn de les dimensions de l'espessor i del diàmetre exterior i es calcula:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{ext}^4 - D_{int}^4) \quad \text{Eq. B. 4}$$

**N:** És un valor fix en dependre de la massa de la torre, del molí i de la placa solar. També hem obtingut el seu valor en l'apartat anterior i és de:

$$N = 1715,64 \text{ N}$$

**A<sub>c</sub>:** És l'àrea del tub de la torre que es correspon amb el d'un cercol. És un valor, que igual que el moment d'inèrcia, depèn de les dimensions de l'espessor i el diàmetre exterior i es calcula:

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \quad \text{Eq. B. 5}$$

Degut a que la intenció és fer l'estructura el més barata i fàcil de construir possible, s'ha escollit realitzar-la amb l'aliatge d'alumini 6063 T5, una aliatge molt versàtil i àmpliament utilitzat en perfils per a arquitectura, portes, mobiliari, estructures, escales, baranes, reixats, barreres, dissipadors de calor, mòduls electrònics, carcasses per a motors elèctrics, etc. La utilització d'aquest aliatge ens permetrà una gran disponibilitat de perfils a un bon preu. A continuació es mostra una taula amb les seves propietats mecàniques.

Estado	Características a la tracción			Límite a la fatiga N/mm²	Resistencia a la cizalladura N/mm²	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm²	Límite elástico Rp 0.2. N/mm²	Alargamiento A 5,65 %			
0	100	50	27	110	70	25
T1	150	90	26	150	95	45
T4	160	90	21	150	110	50
T5	215	175	14	150	135	60
T6	245	210	14	150	150	75
T8	260	240	-	-	155	80

**Taula B.1.** Propietats mecàniques de diferents estats de l'alumini 6063 (Font pròpia)

Amb el valor del límit elàstic ja es pot calcular la màxima tensió admissible:

$$\sigma_{ADM} \leq \frac{175}{1,5} = 116,67 \text{ MPa}$$

En la següent taula es mostren els diferents perfils cilíndrics de l'aliatge 6063 T5 que podem trobar a Alu-Stock S.A, una empresa dedicada a la venda de perfils d'alumini arreu d'Espanya. Juntament amb les dimensions del perfil s'indica el pes per metre i el moment d'inèrcia.

D <sub>ext</sub> (mm)	Pes per m (Kg/m)	e (mm)	I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	Ac (mm <sup>2</sup> )	Y <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>
63	3,92	8	533740	1382,2996	31,5	200,137794
63	1,35	2,5	217770	475,165488	31,5	491,093258
65	1,39	2,5	240070	490,873438	32,5	459,733777
65	0,85	1,5	150910	299,236448	32,5	731,52509
70	7,86	16,5	1086590	2773,23857	35	109,173432
70	7,35	15	1052920	2591,81175	35	112,688074
70	5,34	10	871790	1884,954	35	136,21174
70	3,42	6	623090	1206,37056	35	190,727949
70	2,9	5	542420	1021,01675	35	219,140135
70	1,5	2,5	302350	530,143313	35	393,362029
70	1,21	2	247170	427,25624	35	481,235817
70	0,92	1,5	189420	322,798373	35	628,029235
71	8,18	17	1155400	2883,97962	35,5	104,143108
75	3,12	5	676920	1099,5565	37,5	188,258693
75	1,61	2,5	374570	569,413188	37,5	340,412882
76	1,95	3	459070	688,00821	38	281,459673
80	6,23	10	1374450	2199,113	40	98,8595281
80	3,34	5	832030	1178,09625	40	163,47592
80	2,06	3	538660	725,70729	40	252,624369
80	1,73	2,5	457460	608,683063	40	297,500549
80	1,05	1,5	285050	369,922223	40	477,555574
84	1,1	1,5	330870	388,771763	42	432,210781
85	6,68	10	1686150	2356,1925	42,5	85,6734452
85	3,56	5	1009240	1256,636	42,5	143,284456
85	1,84	2,5	551770	647,952938	42,5	262,231534
90	7,13	10	2042040	2513,272	45	74,9494681
90	3,79	5	1210000	1335,17575	45	126,620368
90	1,95	2,5	658230	687,222813	45	232,895963
90	1,57	2	535500	552,91984	45	286,307075
90	1,18	1,5	408420	417,046073	45	375,43706
95	2,06	2,5	777570	726,492688	47,5	208,235189

96	1,67	2	652630	590,61892	48	250,773043
100	11,36	15	3730150	4005,52725	50	45,6025069
100	8,02	10	2898120	2827,431	50	58,7501666
100	4,23	5	1688120	1492,25525	50	100,968726
100	2,59	3	1076250	914,20269	50	158,444828
100	1,75	2	739520	615,75164	50	230,64554
106	2,75	3	1288430	970,75131	53	140,39876
108	2,81	3	1364910	989,60085	54	135,066284
110	5,99	6,5	2841210	2113,50467	55	66,0505579
110	4,68	5	2278150	1649,33475	55	82,4032151
110	2,39	2,5	1220280	844,302313	55	153,929249
120	9,8	10	5270020	3455,749	60	38,8659156
120	7,98	8	4436230	2814,86464	60	46,190493
120	7,05	7	3981590	2484,99769	60	51,4760902
120	5,12	5	2991880	1806,41425	60	68,5352804

**Taula B.2.** Càlculs per al cilindre exterior d'alumini 6063 T5 (Font pròpia)

Els valors de tensions acceptables, és a dir aquells que són iguals o menors a la tensió admissible són aquells que estan en verd o groc, els que estan en color ataronjat o vermell tenen perill de ruptura.

El primer valor amb una tensió admissible acceptable el podem trobar amb un diàmetre de 80mm i un espessor de 10mm amb un pes del tub de 6,23 Kg/m. Es realitzarà el mateix estudi amb perfils d'acer S 275 J0H per tal de veure la diferència de pes entre els dos materials.

Per a l'acer S 275 tenim una tensió de límit elàstic de 275 N/mm<sup>2</sup> així que la tensió màxima admissible serà:

$$\sigma_{ADM} \leq \frac{275}{1,5} = 183,33 \text{ MPa}$$

D <sub>ext</sub> (mm)	Pes per m (Kg/m)	e (mm)	I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	Ac (mm <sup>2</sup> )	Y <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>
60	5,77	4	277264,167	703,71616	30	364,650712
60	7,05	5	329376,077	863,93725	30	306,957795
70	6,77	4	453256,039	829,37976	35	260,2403
80	7,8	4	691451,393	955,04336	40	194,96156
80	9,62	5	832030,477	1178,09625	40	162,021002
89	6,61	3	750247,035	810,53022	44,5	199,897322
89	8,72	4	966800,761	1068,1406	44,5	155,12228
89	10,66	5	1167893,94	1319,4678	44,5	128,412606
100	7,47	3	1076245,12	914,20269	50	156,570764

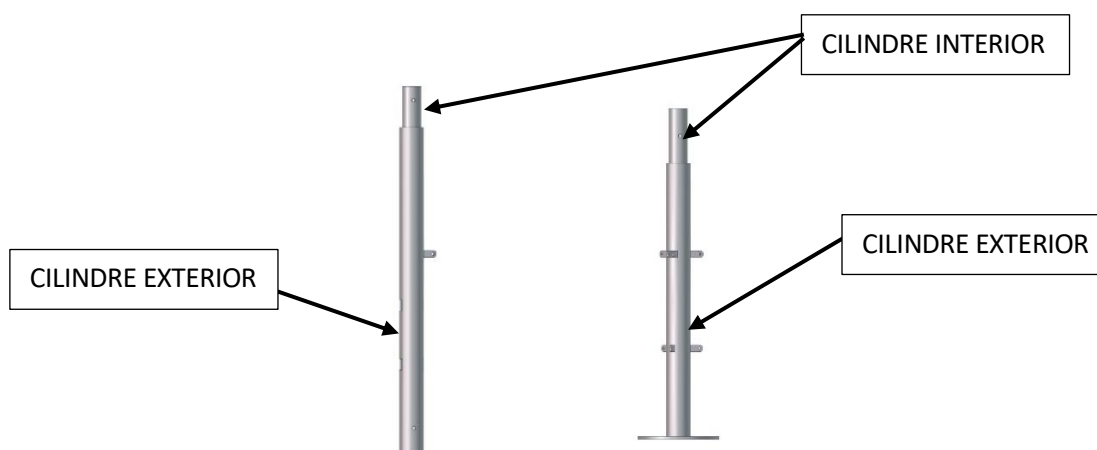
100	9,85	4	1392151,63	1206,37056	50	121,041758
102	7,61	3	1144155,3	933,05223	51	150,223256
102	10,02	4	1480882,69	1231,50328	51	116,065029
102	12,38	5	1796789,2	1523,67115	51	95,6587745
102	14,71	6	2092751,33	1809,55584	51	82,1304527
108	8,07	3	1364906,97	989,60085	54	133,334645
115	8,56	3	1656327,93	1055,57424	57,5	116,99686
115	13,99	5	2618809,79	1727,8745	57,5	73,9973846
127	12,58	4	2926131,9	1545,66228	63,5	73,1363144
127	12,58	4	2926131,9	1545,66228	63,5	73,1363144
127	18,61	6	4184402,32	2280,79434	63,5	51,14384

**Taula B.3.** Càlculs per al cilindre exterior d'alumini 6063 T5 (Font pròpia)

El perfil d'acer que més bé s'adapta per a l'estructura és el de 80mm de diàmetre, igual que per l'alumini però aquest té la meitat de gruix (5mm) i el pes és de 9,62 Kg/m. Tenint en compte que aproximadament hi hauran 4metres d'aquest tub a l'estructura la diferència de pes a l'utilitzar alumini en comptes d'acer és d'uns 13,5Kg, aquesta major lleugeresa facilitarà en gran mesura les feines de muntatge i desmuntatge.

## B.2 Dimensionament del cilindre interior per a la base i el primer tram

La unió entre les tres seccions de cilindres serà mitjançant un encaix de dos cilindres superposats. Així doncs, el cilindre interior haurà de ser prou petit perquè encaixi dins de l'exterior i haurà de ser prou resistent per aguantar les forces produïdes.



**Figura B.2.** Indicacions tipus de cilindre (Font pròpia)

Els càlculs per aquest dimensionament seran els mateixos a excepció del moment màxim que haurà de suportar la peça, que en aquest cas serà menor degut a que la distància de les forces produïdes també ho serà. La fórmula per calcular el moment màxim al que estarà sotmès el tub interior és la següent:

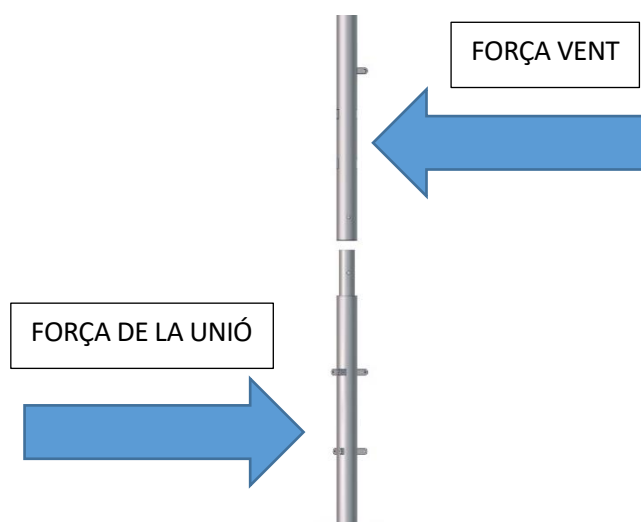
$$\begin{aligned}
 M_{MAX} &= -(F_{py} \cdot \text{distància placa} - \text{cilindre}) + (F_{px} \cdot \text{distància placa} - \text{tub interior}) \\
 &\quad + \left( F_{tx} \cdot \frac{\text{distància tubs}}{2} \right) + (F_{mx} \cdot \text{distància molí} - \text{tub interior}) \\
 &= -(843,26 \cdot 0,320) + (1342,91 \cdot 0,580) + \left( 284,320 \cdot \frac{2,560}{2} \right) \\
 &\quad + (269,89 \cdot 2,750) = 1615,17Nm
 \end{aligned}$$

Degut a que la diferència de N serà molt petita comparada amb la força a la base prendrem el valor anterior:

$$N = 1715,64N$$

Amb aquestes dades ja es pot calcular l'esforç màxim suportat, però en els cilindres interiors també tenim una tensió tallant.

La tensió tallant o tensió de tall és aquella que, fixat un plànol, actua tangent al mateix. La tensió tallant com el seu propi nom indica és aquella que tendeix a provocar un tall a causa d'una força exterior. En el present treball l'esforç tallant és provocat per les forces del vent al rotor, a la placa, i sobre la mateixa torre. S'observa a la següent figura:



**Figura B.3.** Esforç tallant entre trams (Font pròpia)



El càlcul de la tensió tallant es calcula amb la següent fórmula:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{b \cdot I} \quad \text{Eq. B. 6}$$

On:

$\tau$  = Tensió tangencial (N/mm<sup>2</sup>) (MPa)

V = Valor del esforç tallant (N)

Q = Moment estàtic (mm<sup>3</sup>)

b = Distància de la secció total (mm)

I = Moment d'inèrcia (mm<sup>4</sup>)

I es calculen:

El valor de la V l'hem calculat anteriorment i val:  $V$  (direcció +) = -1984,47N

$$Q = \text{Àrea exterior} \cdot \text{Radi exterior} - \text{Àrea interior} \cdot \text{Radi interior}$$

$$= \frac{\pi \cdot R_{ext}^2}{2} \cdot \frac{4 \cdot R_{ext}}{3\pi} - \frac{\pi \cdot R_{int}^2}{2} \cdot \frac{4 \cdot R_{int}}{3 \cdot \pi} \quad \text{Eq. B. 7}$$

$$b = (D_{ext} - (D_{ext} - 2 \cdot t)) \quad \text{Eq. B. 8}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{ext}^4 - (D_{ext} - 2 \cdot t)^4) \quad \text{Eq. B. 9}$$

On t = espessor

La tensió màxima admissible tindrà un valor tal que:

$$\tau_{MAX} = \frac{fy}{1,5} = \frac{175}{1,5} = 58,33 \text{ MPa}$$

Ara ja podem extreure la taula de perfils:

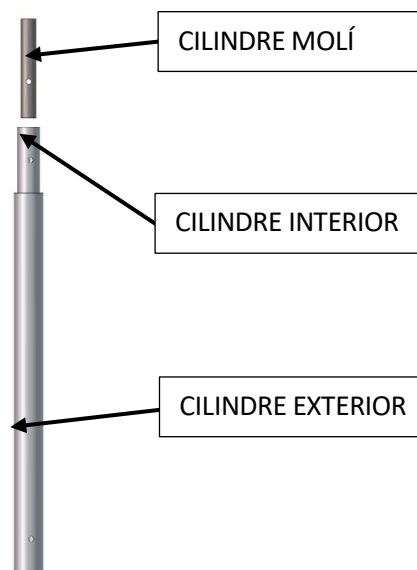
D <sub>ext</sub> (mm)	Pes per m (Kg/m)	e (mm)	I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	Ac (mm <sup>2</sup> )	Y <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>
60	4,45	10	510510	1570,80	30	24,298
60	2,00	4	277260	703,72	30	55,477
60	1,52	3	218780	537,21	30	72,782
60	1,28	2,5	186990	451,60	30	86,631

60	1,03	2	153420	364,42	30	107,406
60	0,78	1,5	118010	275,67	30	142,027
63	3,92	8	533740	1382,30	31,5	27,947
63	1,35	2,5	217770	475,17	31,5	82,346
65	1,39	2,5	240070	490,87	32,5	79,714
65	0,85	1,5	150910	299,24	32,5	130,856
70	7,86	16,5	1086590	2773,24	35	13,307
70	7,35	15	1052920	2591,81	35	14,416
70	5,34	10	871790	1884,95	35	20,407
70	3,42	6	623090	1206,37	35	32,282
70	2,9	5	542420	1021,02	35	38,215
70	1,5	2,5	302350	530,14	35	73,821
70	1,21	2	247170	427,26	35	91,629
70	0,92	1,5	189420	322,80	35	121,313
71	8,18	17	1155400	2883,98	35,5	12,766
75	3,12	5	676920	1099,56	37,5	35,504
75	1,61	2,5	374570	569,41	37,5	68,738
76	1,95	3	459070	688,01	38	56,872
80	6,23	10	1374450	2199,11	40	17,575
80	3,34	5	832030	1178,10	40	33,152
80	2,06	3	538660	725,71	40	53,922
80	1,73	2,5	457460	608,68	40	64,311
80	1,05	1,5	285050	369,92	40	105,866
84	1,1	1,5	330870	388,77	42	100,735
85	6,68	10	1686150	2356,19	42,5	16,431
85	3,56	5	1009240	1256,64	42,5	31,091
85	1,84	2,5	551770	647,95	42,5	60,418
90	7,13	10	2042040	2513,27	45	15,426
90	3,79	5	1210000	1335,18	45	29,271
90	1,95	2,5	658230	687,22	45	56,969
90	1,57	2	535500	552,92	45	70,821
90	1,18	1,5	408420	417,05	45	93,908
95	2,06	2,5	777570	726,49	47,5	53,893
96	1,67	2	652630	590,62	48	66,304
100	11,36	15	3730150	4005,53	50	9,583
100	8,02	10	2898120	2827,43	50	13,742

**Taula B.3.** Càlcul cilindre interior alumini 6063 T5 primer tram (Font pròpia)

### B.3 Dimensionament del cilindre interior per al segon tram

Per al segon tram de l'estructura no valdrà la mesura de perfil seleccionada anteriorment ja que per dins d'aquest hi ha d'anar un altre tub de diàmetre 48mm que s'unirà amb el molí segons s'indica a la fitxa tècnica d'aquest. Amb el perfil seleccionat anteriorment es tindria un diàmetre interior de 40mm per tant el tub que uneix amb el molí no serviria. De fet l'únic perfil que serveix és el de 60mm de diàmetre exterior amb un gruix de 5mm per tant, ara es comprovarà si aquest és vàlid per a l'estructura.



**Figura B.4.** Distinció entre cilindres (Font pròpia)

Seguint el procediment anterior primer calcularem el moment màxim suportat pel cilindre interior:

$$M_{MAX} = (F_{mx} \cdot \text{distància molí} - \text{cilindre interior}) = \left( 284,320 \cdot \frac{0,500}{2} \right) = 71,08 Nm$$

Degut a que en aquest cas només intervé la força del molí el moment màxim és molt reduït.

D <sub>ext</sub> (mm)	Pes per m (Kg/m)	e (mm)	I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	Ac (mm <sup>2</sup> )	Y <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>	Q	tau max
60	2,45	5	329380	863,94	30	8,460	74844,37	6,817

**Taula B.4.** Càlcul cilindre interior alumini 6063 T5 segon tram (Font pròpia)

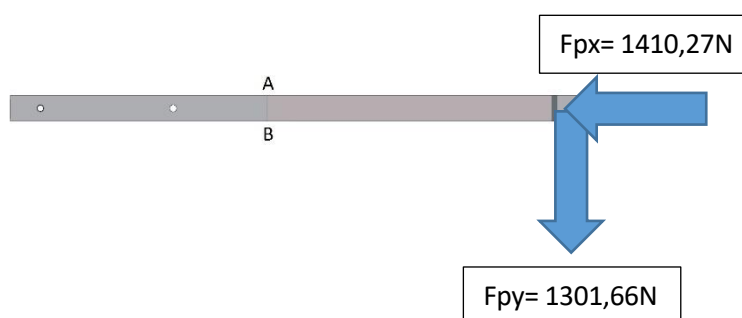
Com es pot veure el perfil compleix sobrat amb els requisits.

## B.4 Dimensionament del suport de la placa solar



**Figura B.5.** Braç en forma de “Y” (Font pròpia)

Degut a que a la placa solar és on es produeixen les forces de major intensitat, es calcularà també la resistència a tensió d'estat límit per a la peça que es mostra a la figura anterior, tractant-se d'un perfil quadrat buit soldat per tal de formar un braç en forma de “Y”. Per a fer-ho s'utilitzaran les mateixes condicions i fórmules de Navier utilitzades a l'apartat anterior. A continuació es mostren les forces que s'apliquen a la peça.



**Figura B.6.** Diagrama de forces al braç en forma de “Y” (Font pròpia)

Sabent que la distància entre el punt d'aplicació de la força  $F_{py}$  i el punt de suport de la peça són 376mm tenim el moment màxim,  $M_{MAX} = 489,42\text{Nm}$ . La força  $F_{px}$  serà la força  $N$  a l'equació de Navier. El punt més crític serà el punt B, ja que igual que a l'apartat anterior es sumarà la força de compressió causada pel moment més la força  $N$ .

L'equació que ens definiria la tensió màxima a la peça serà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_{MAX} \cdot Y_{MAX}}{I} + \frac{N}{A_c} \quad \text{Eq. B. 10}$$

On:

$M_{MAX}$ = Moment màxim (489,2 N.mm)

$Y_{MAX}$ = La meitat del costat exterior del perfil

$I$  = Moment d'inèrcia ( $\text{mm}^4$ )

$$I = \frac{b_{ext}^4}{12} - \frac{b_{int}^4}{12} \quad \text{Eq. B. 11}$$

$N$  = Esforç axial (1410,27 N)

$A_c$  = Àrea tallant ( $\text{mm}^2$ )

$$A_c = b_{ext}^2 - b_{int}^2 \quad \text{Eq. B. 12}$$

Degut a que el material és el mateix alumini 6063 T5, la tensió màxima serà la especificada abans, és a dir:

$$\sigma_{ADM} \leq \frac{175}{1,5} = 116,67\text{MPa}$$

$D_{ext}$ (mm)	Pes per m (Kg/m)	e (mm)	$I_x$ ( $\text{mm}^4$ )	$A_c$ ( $\text{mm}^2$ )	$Y_{max}$	$\sigma_{max}$
15	0,23	1,5	2490	81	7,5	1491,5799
15	0,295	2	3000	104	7,5	1237,12069
16	0,247	1,5	3080	87	8	1287,44158
20	0,315	1,5	6370	111	10	781,031917
20	0,408	2	7870	144	10	631,679387
20	0,578	3	10130	204	10	490,056385
25	0,4	1,5	13030	141	12,5	479,518569

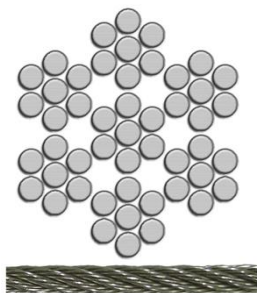
25	0,522	2	16350	184	12,5	381,842003
25	0,748	3	21690	264	12,5	287,398271
30	0,485	1,5	23210	171	15	324,548891
30	0,635	2	29420	224	15	255,8323
30	0,919	3	39850	324	15	188,577589
35	0,57	1,5	37670	201	17,5	234,383479
35	0,748	2	48090	264	17,5	183,443882
40	0,655	1,5	57150	231	20	177,382111
40	0,862	2	73370	304	20	138,051656
40	1,259	3	101970	444	20	99,1700388
40	1,633	4	125950	576	20	80,1656002
45	0,74	1,5	82410	261	22,5	139,028423
45	0,975	2	106240	344	22,5	107,752141
50	0,825	1,5	114190	291	25	111,997563
50	1,089	2	147710	384	25	86,5078906
50	1,599	3	208490	564	25	61,1872455
50	2,087	4	261530	736	25	48,7008331
50	2,552	5	307500	900	25	41,3575488

**Taula B.5.** Càlcul per al braç en forma de “Y” amb alumini 6063 T5(Font pròpia)

El perfil triat serà el de 40mm de costat i 4mm de gruix, ja que amb una tensió màxima de 80,165MPa és el que ens oferirà una major resistència en les tensions especificades. Amb un pes d'1,633Kg/m la peça tindrà un pes aproximat d'1,5Kg. Es podria haver escollit el perfil de 3mm de gruix però, degut a que la diferència de preu i de pes és molt petita s'ha preferit optar pel de major gruix.

## B.5 Dimensionament dels tirants i ancoratges

Els cables que formaran els 3 vents de l'estructura seran d'acer trenat amb un tractament de galvanitzat per tal de fer-los més resistent a la intempèrie. Aquests tindran una estructura de 7x7 com es mostra a la següent imatge i les resistències mínimes de ruptura que poden suportar es troben directament a la web del fabricant.



**Figura B.7.** Tipus de trenat 7x7 per a un cable d'acer (Font: tecni-cable.co.u)

Diàmetre (mm)	Pes per metre (Kg/m)	Força mínima de ruptura (kN)
1,5	0,009	0,71
2	0,016	1,42
2,5	0,025	2,2
3	0,045	3,95
4	0,063	5,07

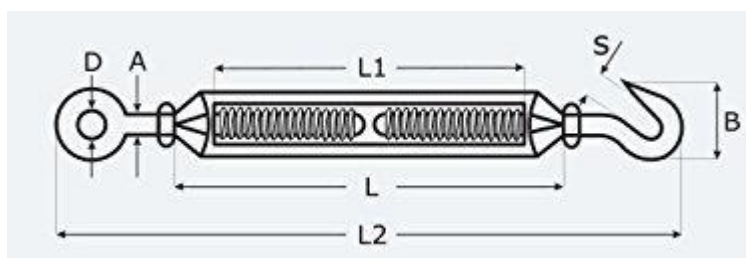
**Taula B.6.** Valors de pes i força mínima de ruptura per a diferents valors de diàmetre del tirant (Font pròpia)

Com s'ha calculat anteriorment, la major força a la que estaran sotmesos els tirants serà de 2,99kN. De la mateixa manera que s'ha realitzat amb el càlcul de la torre s'aplicarà un coeficient de seguretat d'1,5 seguint amb la norma UNE-EN 61400-1. La càrrega majorada que servirà per a determinar el diàmetre dels cables serà de 4,48kN, per tant la mesura immediatament superior que satisfà les necessitats és el cable de 4mm de diàmetre.

De la mateixa manera s'ha comprovat la dimensió dels tensors, que en aquest cas es requerirà la mesura M8 com es pot comprovar a la següent taula:

Grossor	L (mm)	L1(mm)	L2(mm)	B(mm)	D(mm)	S(mm)	Pes(Kg)	Força mínima de ruptura (kN)
<b>M6</b>	90	66	160	16	10	10	0,08	3,13
<b>M8</b>	120	94	200	20	14	11	0,08	5,49

**Taula B.7.** Dimensions per al tensor d'ullet (Font pròpia)



**Figura B.8.** Tensor d'ullet (Font pròpia)

Finalment per a les àncores es disposa de la següent taula de models i propietats:

Model d'àncora Duckbill	Força de treball recomanada per a sòls normals*(kN)	Força mínima de ruptura del cable lligat a l'àncora(kN)	Profunditat recomanada d'instal·lació(m)
<b>40</b>	1,32	2,12	0,5
<b>68</b>	4,75	7,50	0,85
<b>88</b>	13,23	26,91	1,05
<b>138</b>	22,06	43,25	1,50

**Taula B.8.** Valors de força màxima de treball per a diferents models d'àncores (Font: Duckbill)



\* La capacitat de retenció de l'àncora variarà segons el sòl d'instal·lació. La força de treball indicada està pensada per a una condició de sòl mitjana (classe 5) segons la norma ASTM D1586 (norma d'assajos de penetració estàndards). S'espera una major capacitat de retenció en sòls més durs i una menor capacitat en sòls més tous.

La norma estableix com a condició de sòl mitjana els següents tipus de terrenys: sorra densa, sorra i argiles, argiles denses, sorres, grava, sòls durs i argiles.

Degut a la varietat de condicions en el sòl a les que es pot trobar l'operari i el fet que les àncores s'hauran d'enterrar i desenterrar constantment he decidit optar pel model 88 per sobre del 68 per tal d'assegurar l'estructura en una varietat de terrenys i profunditats més àmplia.

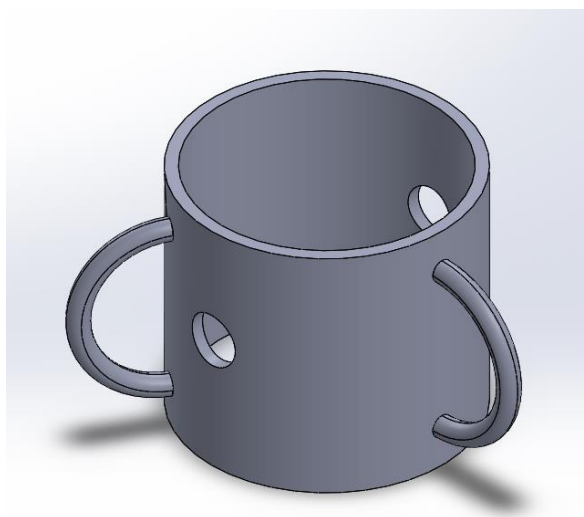
Finalment, els mosquetons que uniran el cable amb l'estructura hauran de complir amb la norma UNE 12275:2013. El tipus de mosquetó més adient serà el tipus "k" degut a que es simètric, té anella cargolada de seguretat i assegura càrregues de fins a 25Kn.



**Figura B.9.** Mosquetó tipus k amb anella de seguretat (Font: proalt.es )

## B.6 Dimensionament de la peça de suport dels tirants

Aquesta peça serà forma cilíndrica i tindrà soldades tres anelles on s'hi agafaran els mosquetons. Degut a que haurà de passar pel cilindre de 80mm aquesta haurà de ser d'un diàmetre lleugerament superior, en aquest cas de 83mm i 4mm de gruix. El que es comprovarà en aquest apartat és el diàmetre necessari de les tres anelles on s'hi fixaran els mosquetons.



**Figura B.10.** Peça suport per als tirants (Font pròpia)

Degut a que la peça haurà de suportar forces de fins a 3kN he decidit realitzar-la en acer per simplificar la producció d'aquesta disminuint-ne les dimensions. L'acer en el que s'ofereixen els perfils necessaris per a la realització de la peça és l'AINSI 304 que té un límit elàstic de 230MPa. La tensió màxima admissible serà doncs:

$$\sigma_{ADM} \leq \frac{230}{1,5} = 153,33MPa$$

Degut a que es tracta d'una peça de difícil càlcul s'han estudiat les dimensions en el SolidWorks Simulation.

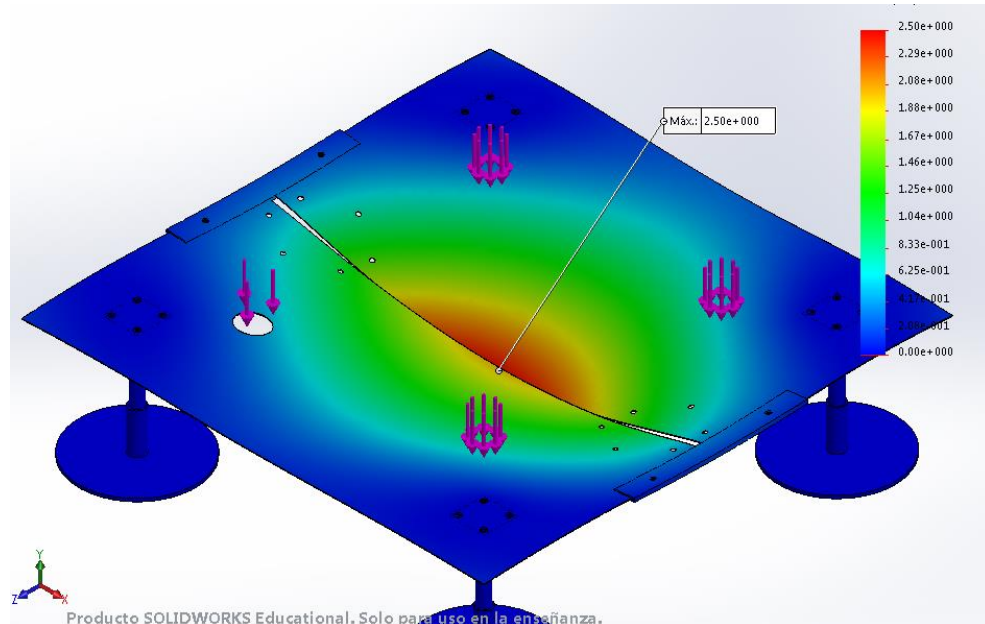
## Annex C: Dimensionament de la plataforma

El dimensionament de la plataforma d'aterratge estarà condicionat pel pes del dron i les forces laterals del vent que puguin comprometre l'estabilitat de la plataforma. Degut a que els esforços produïts a la plataforma són baixos i principalment ens interessa el vinclament que es pugui generar a les planxes d'acer he simulat els esforços amb SolidWorks Simulation.

El material escollit ha estat l'acer inoxidable AISI 304, un acer amb bona resistència a la corrosió i àmpliament utilitzat en planxes com les que s'usen per a la plataforma. S'ha considerat un pes màxim del dron de 10Kg amb una separació de potes de 60cm.

Amb aquestes dades he començat les simulacions amb el gruix mínim en la gran majoria de planxes d'acer, 0,6mm. Les guies seran de 2mm degut a que aquestes han de suportar un major esforç a flexió. En les simulacions he obtingut un resultat de 1,73mm de desplaçament màxim en el punt mig de les dos planxes.

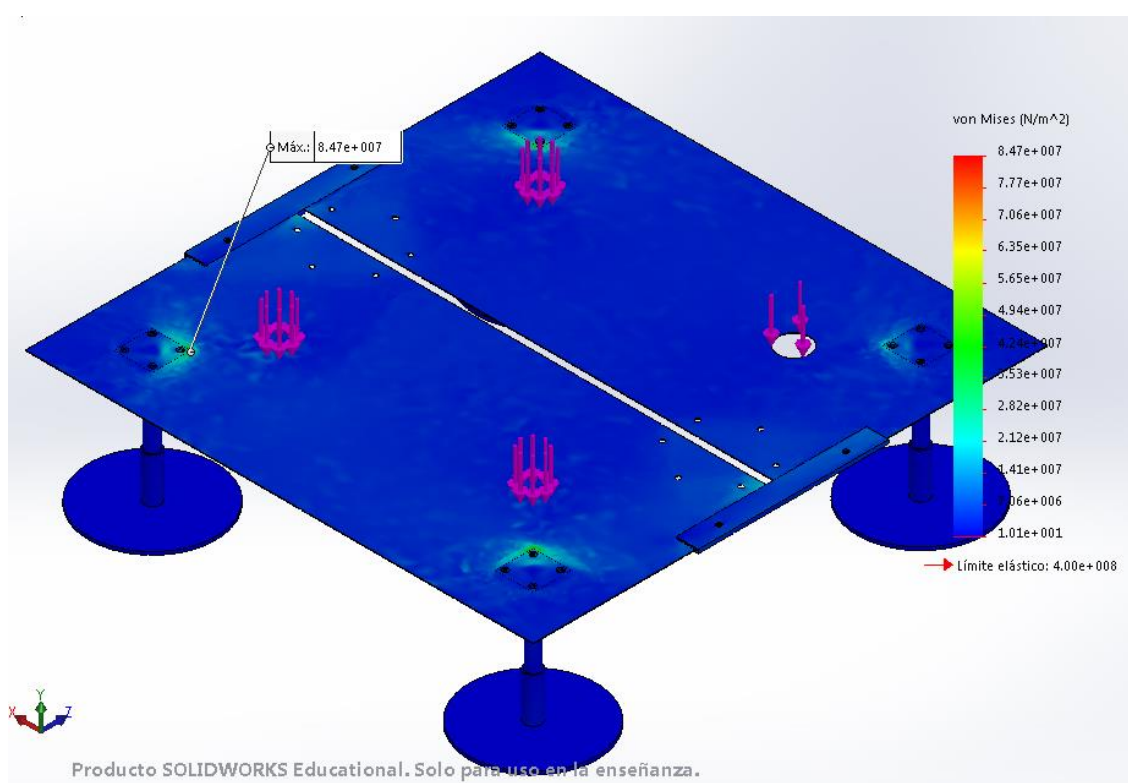
Malgrat que aquests resultats són vàlids per a la nostra plataforma he decidit fer les planxes d'1,2mm de gruix ja que aquestes tindran més resistència a vinclaments que puguin ocórrer durant el transport o el muntatge.



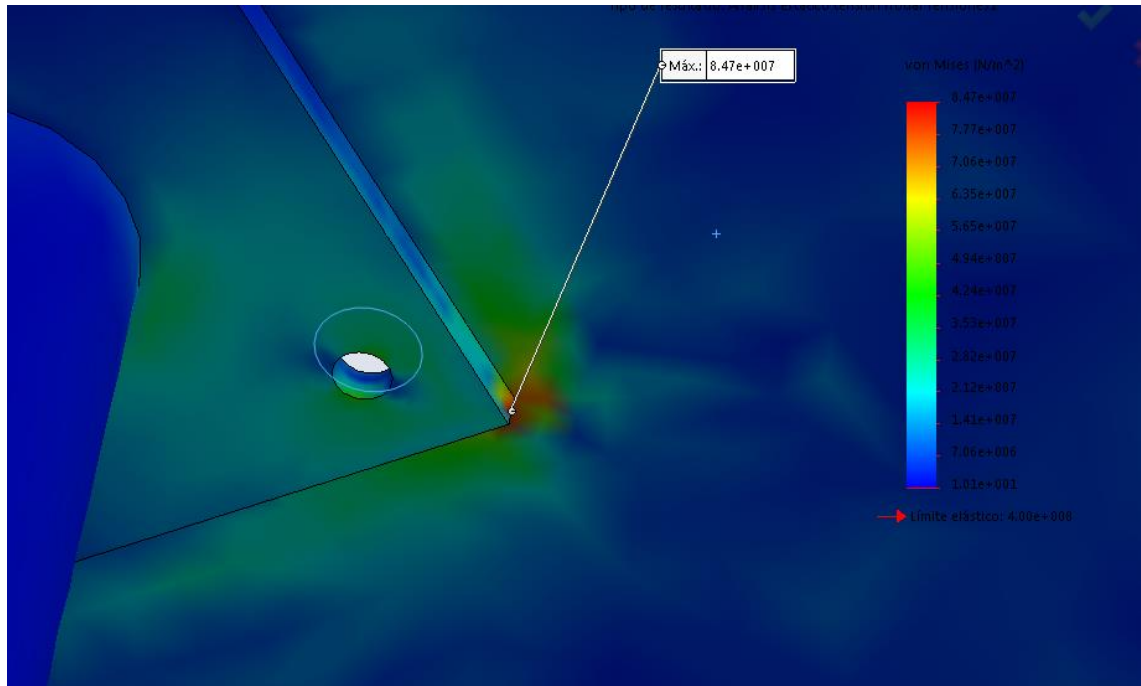
**Figura C.1.** Desplaçaments en mm de la plataforma d'aterratge (Font pròpia)

Com podem veure en les figura anterior, amb gruix de 1,2mm el desplaçament augmenta degut al major pes de la planxa, però tot i així és acceptable amb 2,50mm. A aquest desplaçament hi hauríem d'afegir 0,8mm que conformen l'espai entre les guies i la planxa per tal que durant el muntatge es puguin col·locar amb facilitat. Així doncs, tindríem un desplaçament màxim de 3,3mm en el centre de la plataforma.

A la següent figura podem veure que la majoria de tensions de Von Mises oscil·len entre els  $10,1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  i els  $5,65 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ . A la figura es pot veure el punt més crític pel que fa a tensions, es tracta de la cantonada del suport de la pota més propera a on es localitza la força. Concretament en aquest punt tenim una tensió de  $8,47 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ . Tot i això, la tensió està lluny dels  $4 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$  que suposen el límit elàstic del material.



**Figura C.2.** Tensions en  $\text{N/m}^2$  a la plataforma d'aterratge (Font pròpia)

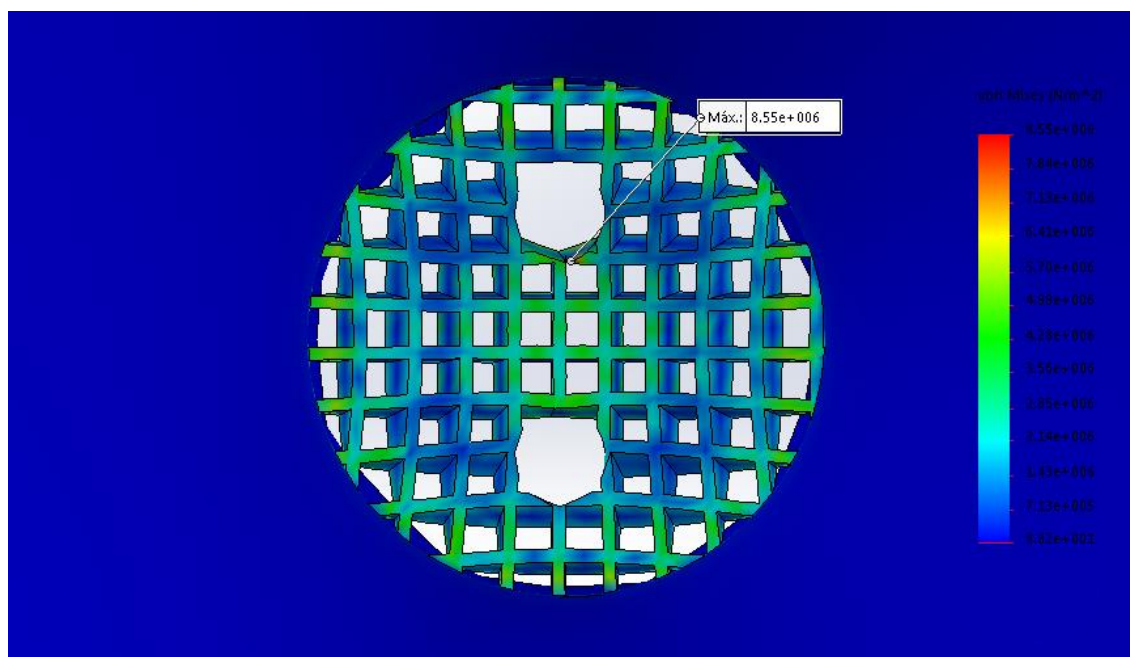


**Figura C.3.** Tensió màxima de la plataforma d'aterratge (Font pròpia)

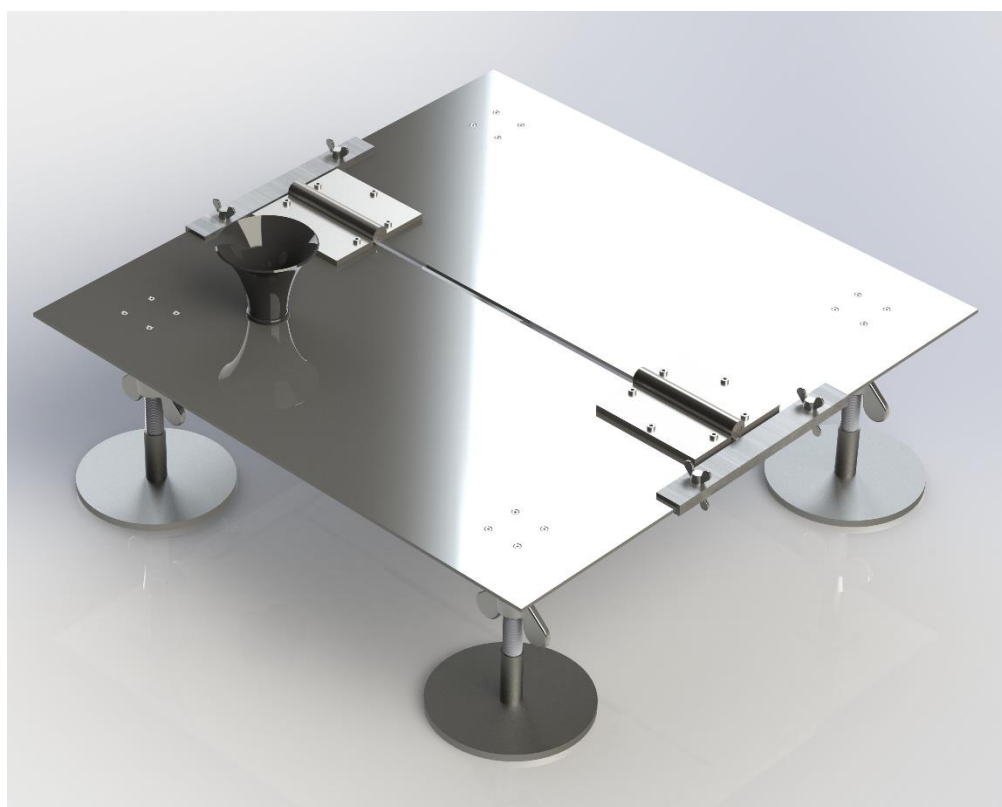
Es calcularan ara els esforços produïts degut al pes del dron en la trompeta. Per a la fabricació d'aquesta he optat per utilitzar plàstic ABS, es tracta d'un plàstic molt resistent a l'impacte (cops) molt utilitzat en automoció i altres usos tant industrials com a domèstics i crec que tindrà un molt bon servei per a la aplicació.

Per a la simulació s'aplicaran 24,5N a la reixeta que suporta el dron i permet passar l'aigua i el cablejat al mateix temps; aquesta força representarà el pes d'una pota del dron. Com es pot veure a la figura C.4, la zona de la reixeta serà la zona més crítica que presentarà una tensió màxima de  $8,55 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ . Amb aquest valor podem dir que la reixeta aguantarà, tenint en compte els  $3,2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  de tensió de límit elàstic del material.

Degut a que es tracta d'un plàstic molt rígid els desplaçaments són gairebé nuls, amb un màxim de 0,18mm.



**Figura C.4.** Tensió màxima suport de reixeta (Font pròpia)



**Figura C.5.** Plataforma d'aterratge (Font pròpia)

## Annex D: MANUAL PREPARACIÓ I MUNTATGE TORRE DE CÀRREGA



## Índex

D.1 Eines necessàries.....	116
D.2 Peces incloses.....	117
D.3 Preparació prèvia.....	119
D.4 Muntatge.....	125

### D.1 Eines necessàries

La senzillesa i robustesa de l'estructura eren dues prioritats per al seu disseny. Per aquest motiu, durant la preparació només seran necessàries dues eines, amb una d'opcional. El muntatge final es pot realitzar sense necessitat de cap eina.



CLAU ALLEN MESURES M8 I M12



CLAU ANGLESA MESURES M8 I M12



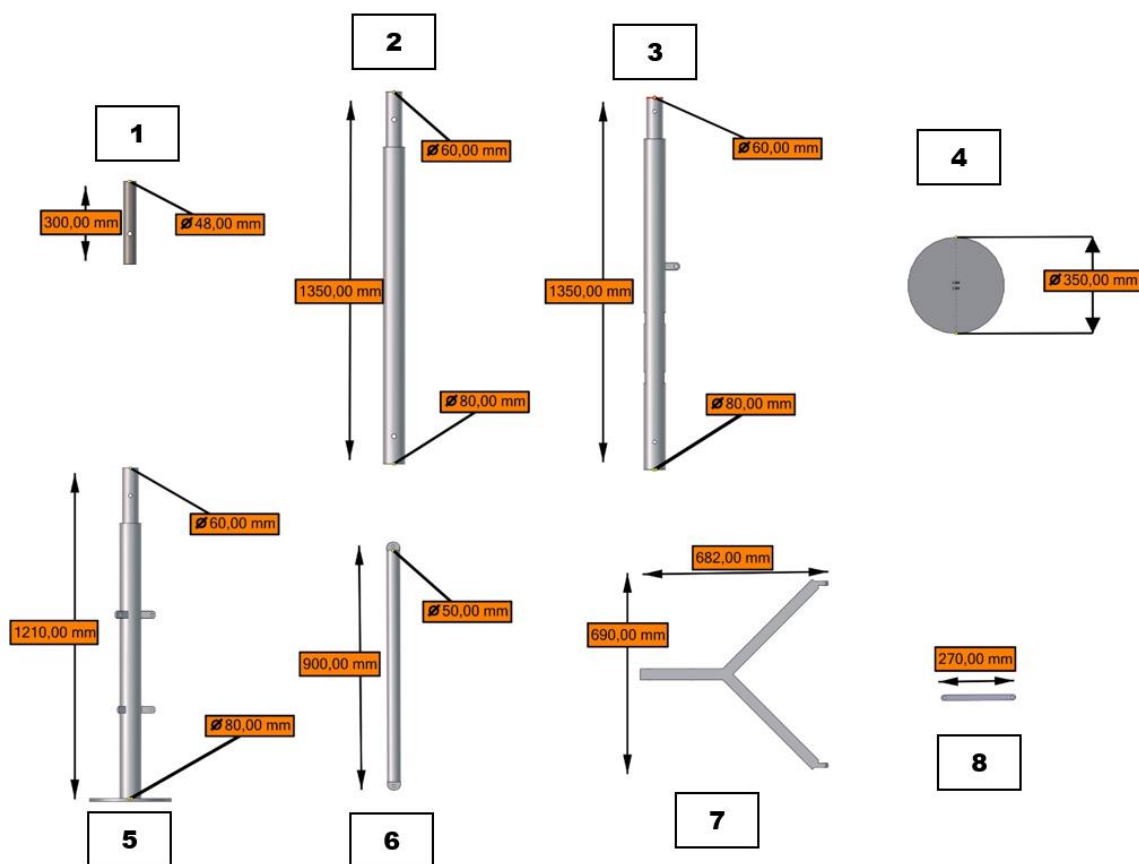
MARTELL

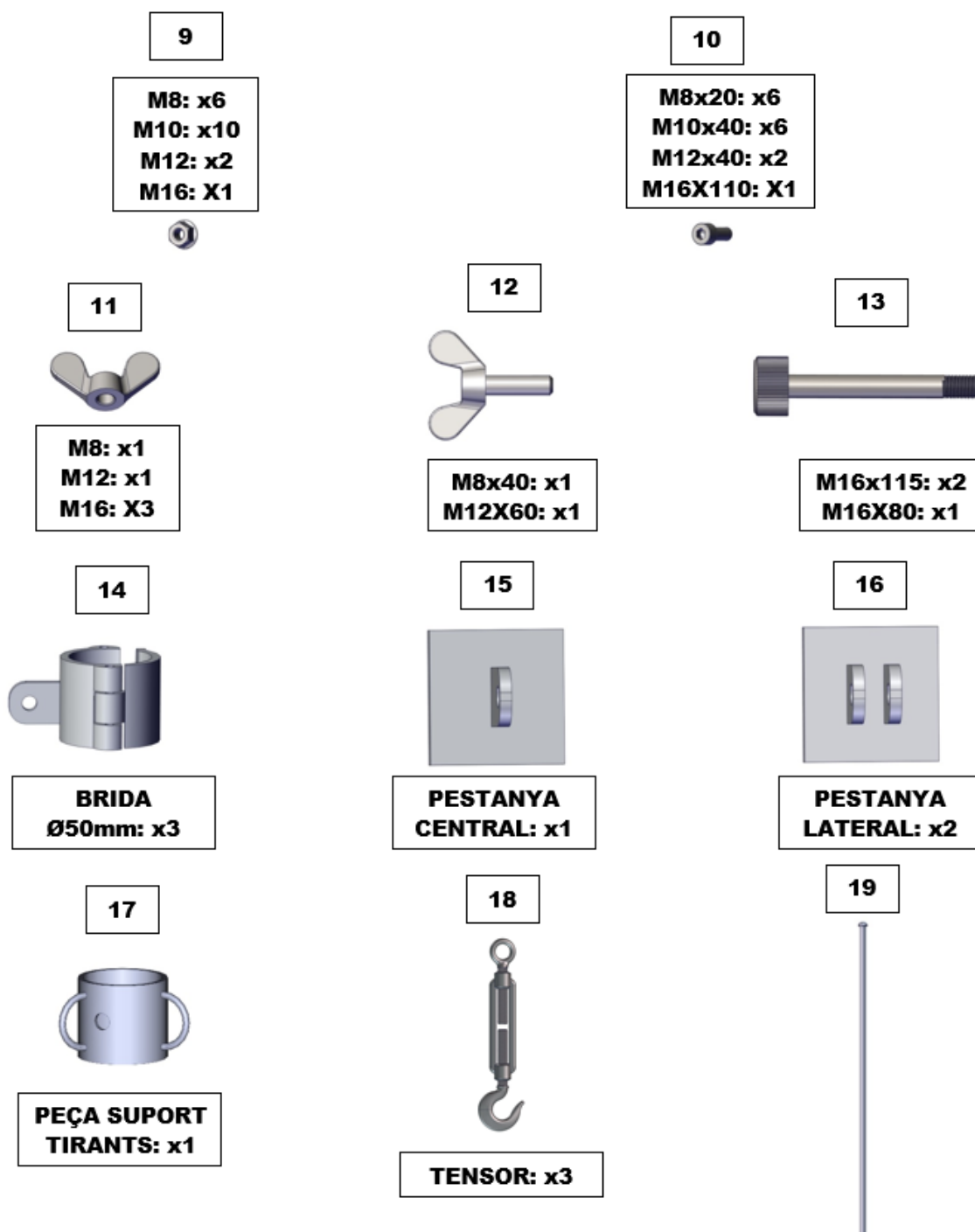
En cas que es vulguin fixar les pestanyes a la placa solar mitjançant soldadura també serà necessari un aparell soldador.



## D.2. Peces incloses

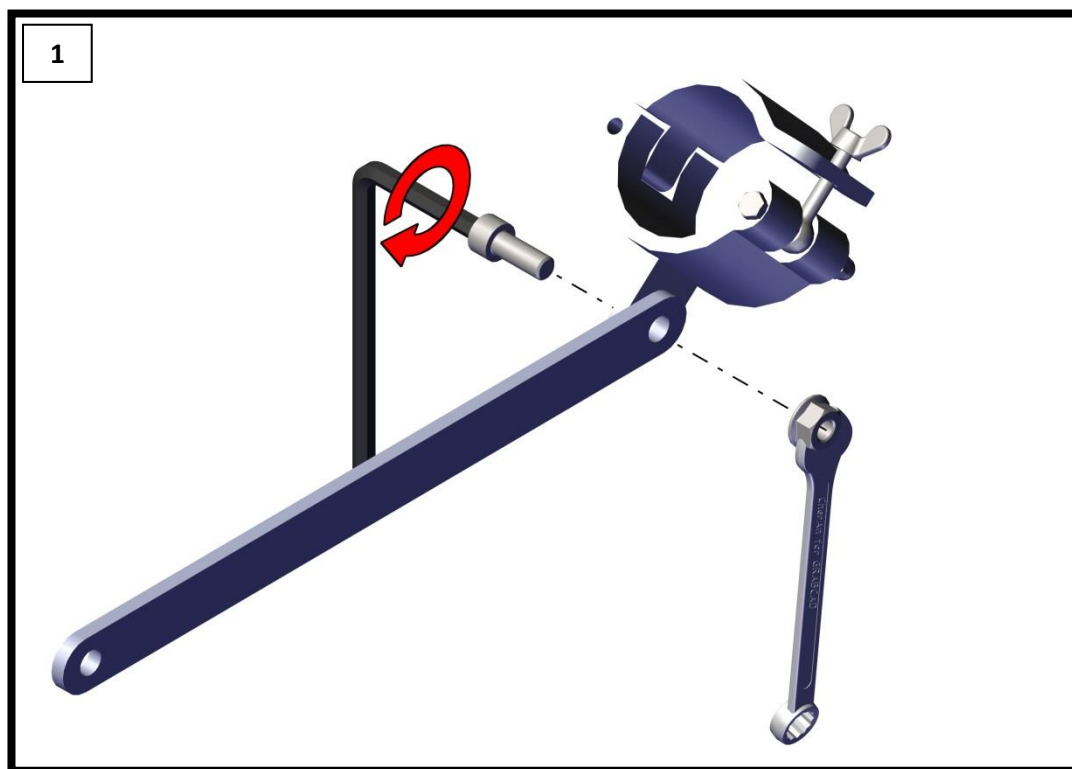
1. Tub suport molí (x1)
2. Segon cilindre elevador (x1)
3. Primer cilindre elevador (x1)
4. Pota d'acer (x3)
5. Base (x1)
6. Barra trípod (x3)
7. Suport placa solar en forma de "Y" (x1)
8. Platina suport trípod (x3)
9. Femella ISO 4161
10. Cargol ISO 14580
11. Femella amb papallona DIN 316
12. Cargol amb papallona DIN 316
13. Passador personalitzat
14. Brida (x3)
15. Pestanya central placa solar (x1)
16. Pestanya lateral placa solar (x2)
17. Brida de suport per als tirants (x1)
18. Tensor M8
19. Tub conductor de l'àncora
20. Cable d'acer de 4mm de diàmetre i 3m de longitud
21. Àncora Duckbill 88



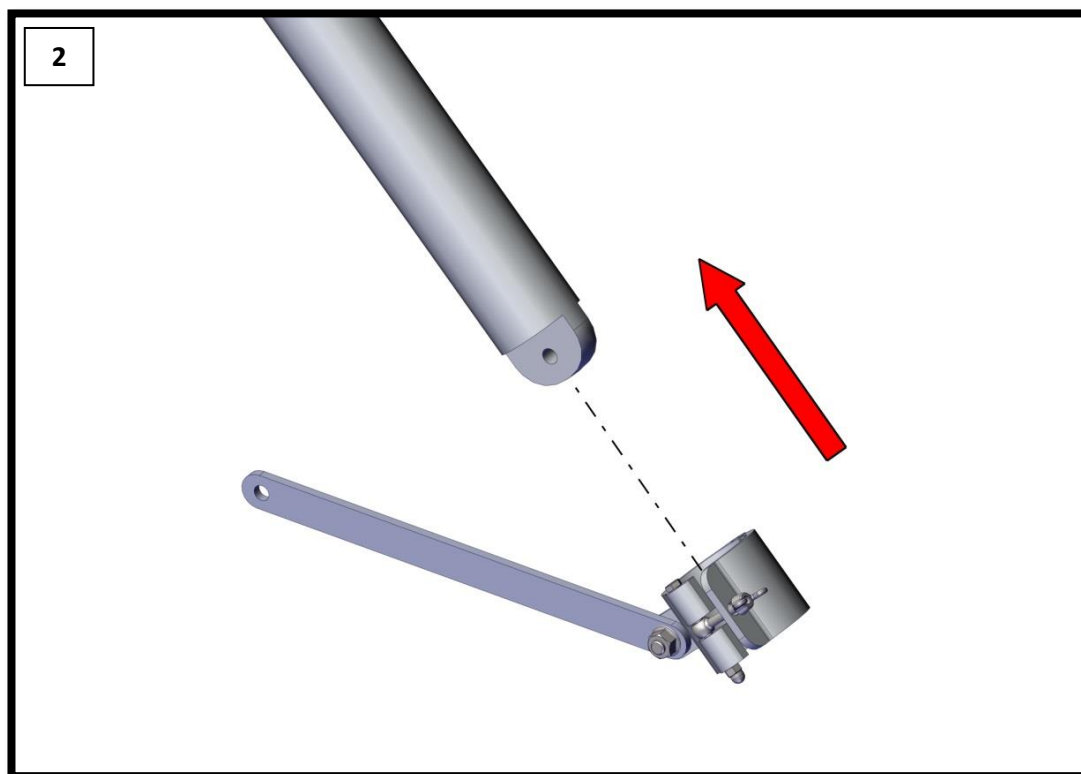


### D.3. Manual preparació prèvia

**PAS 1:** Collar les tres brides amb un extrem de les platines utilitzant els cargols ISO 14580 i les femelles ISO 4161.



**PAS 2:** Introduir les brides per les barres que formaran el trípod.

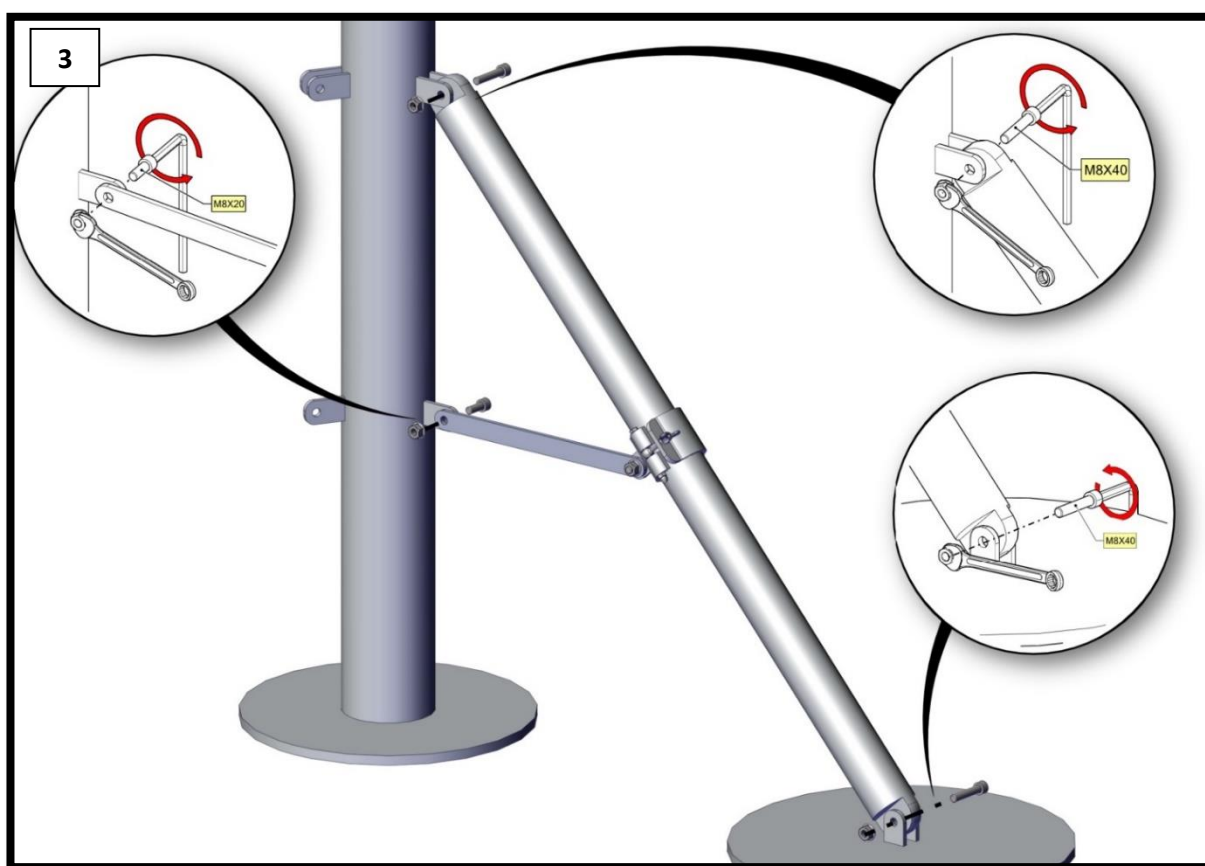


**PAS 3:** Collar un dels extrems de la barra que forma el trípod amb la base utilitzant un cargol ISO 14580 i una femella ISO 4161, amb les mides indicades al següent esquema.

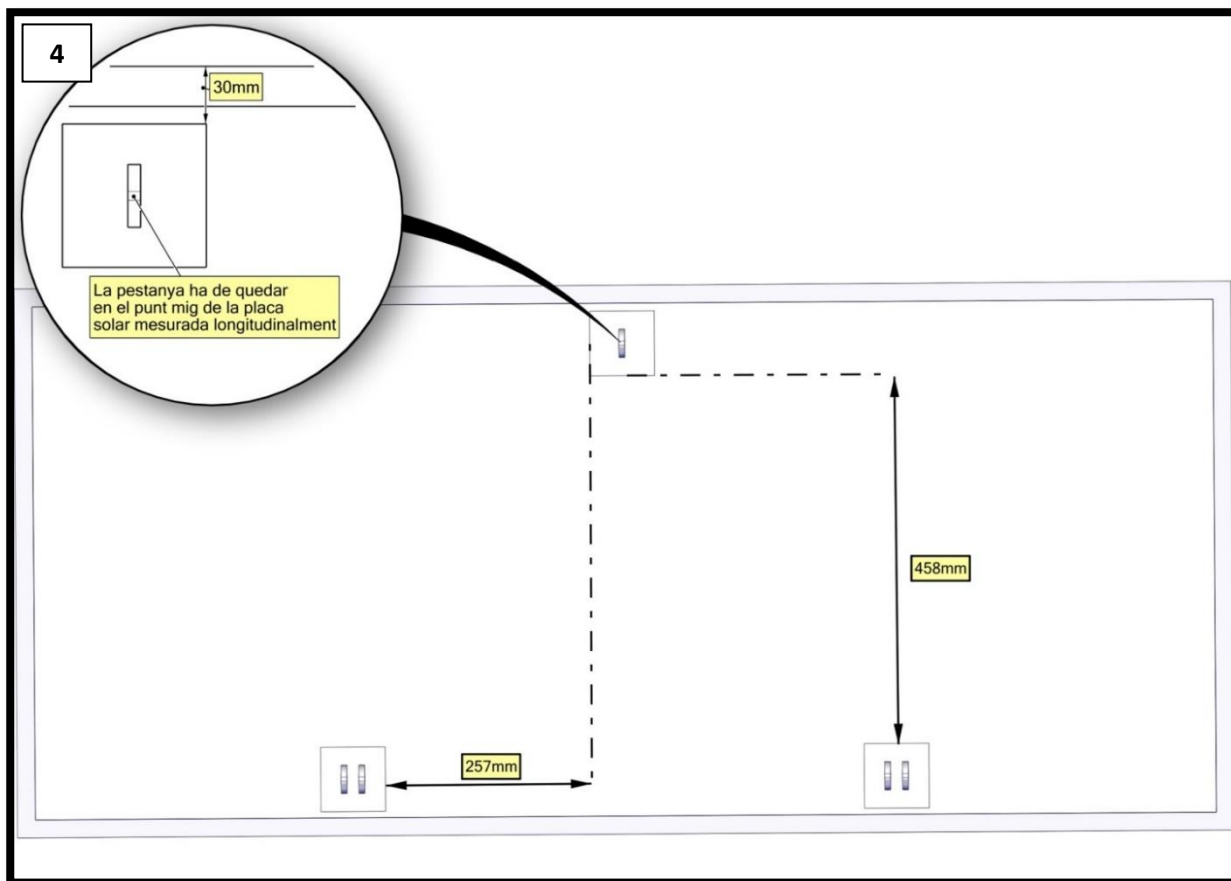
**PAS 4:** Collar l'extrem lliure de la barra que forma el trípod amb la pestanya superior de la base utilitzant un cargol ISO 14580 i una femella ISO 4161, amb les mides indicades al següent esquema.

**PAS 5:** Collar l'extrem lliure de la platina amb la pestanya inferior de la base utilitzant un cargol ISO 14580 i una femella ISO 4161, amb les mides indicades al següent esquema.

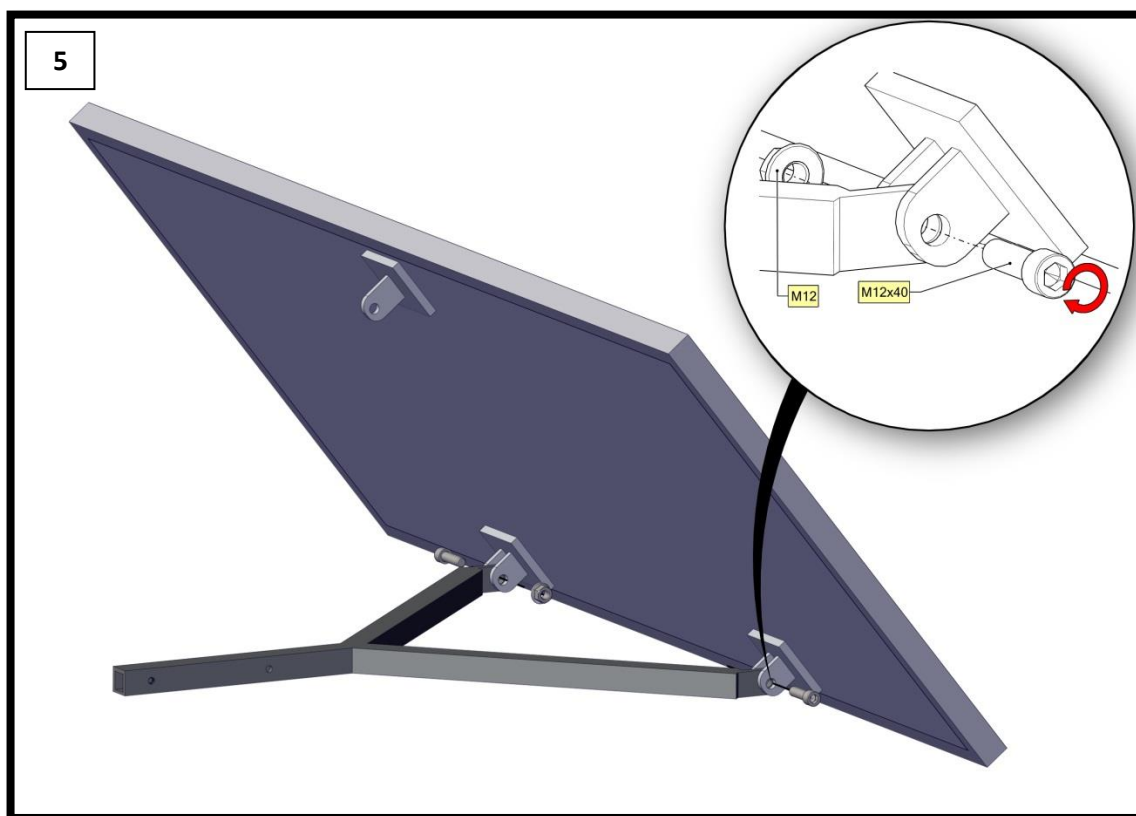
**PAS 6:** Repetir els passos 3-5 per a totes les barres.



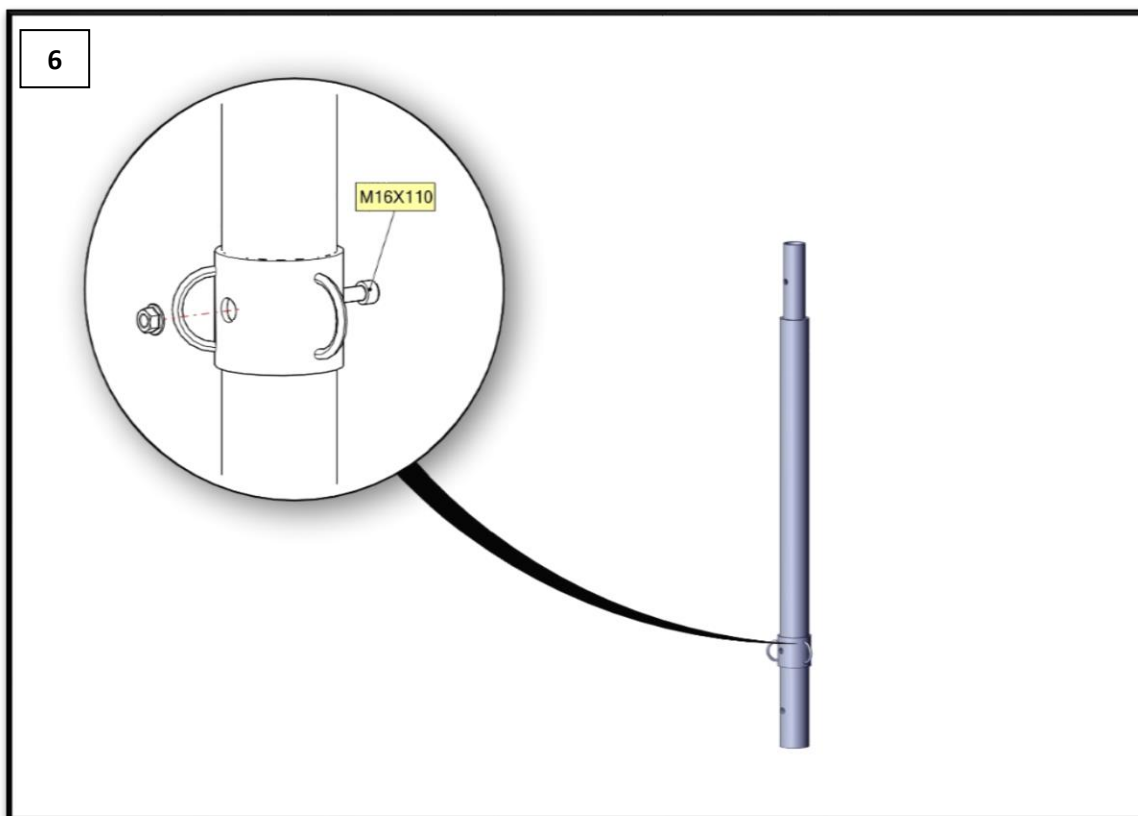
**PAS 7:** Fixar les tres pestanyes a la part posterior de la placa tal i com es mostra a la següent figura. Per tal de fixar les 3 pestanyes es recomana utilitzar un adhesiu d'alta resistència o un cordó de soldadura.



**PAS 8:** Collar les dues pestanyes amb els dos extrems del suport en forma de “Y” utilitzant un cargol ISO 14580 i una femella ISO 4161 amb les mides indicades a la següent figura.



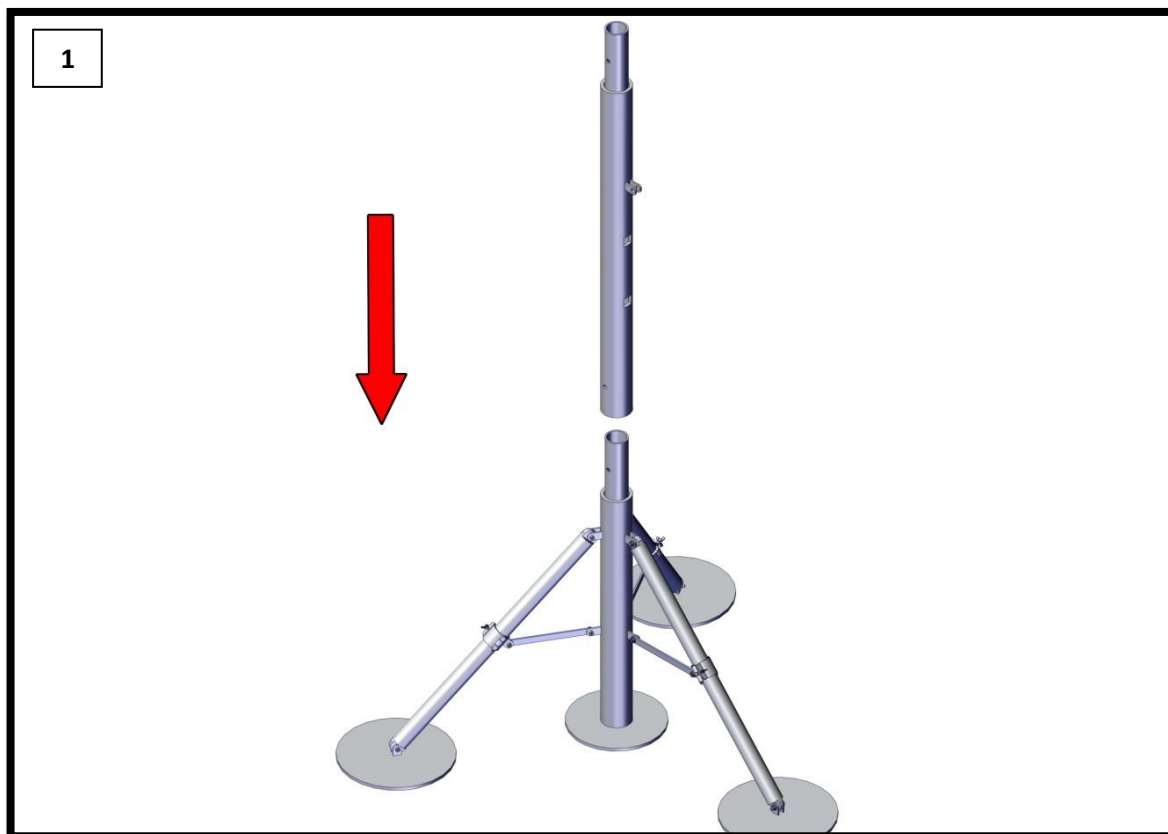
**PAS 9:** Collar la brida de suport dels tirants utilitzant un cargol ISO 14580 i una femella ISO 4161 amb les mides indicades a la següent figura.



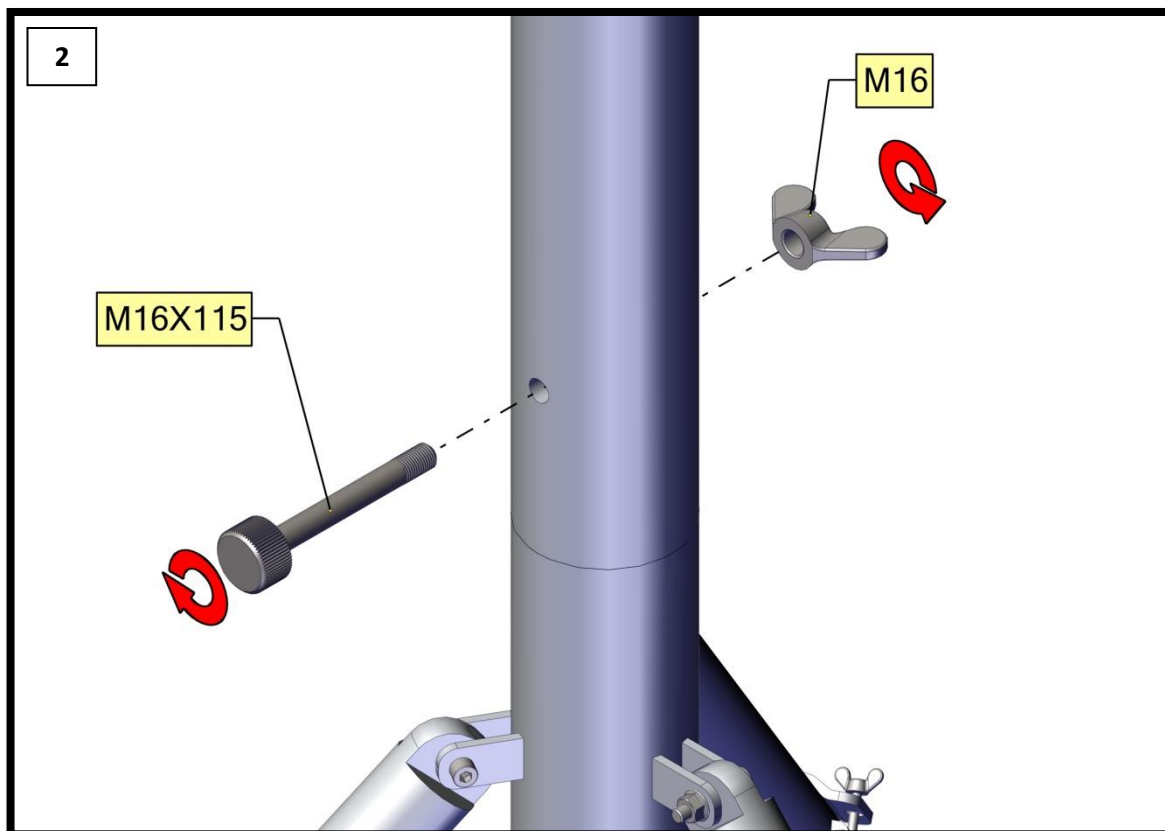


## D.4. Manual muntatge

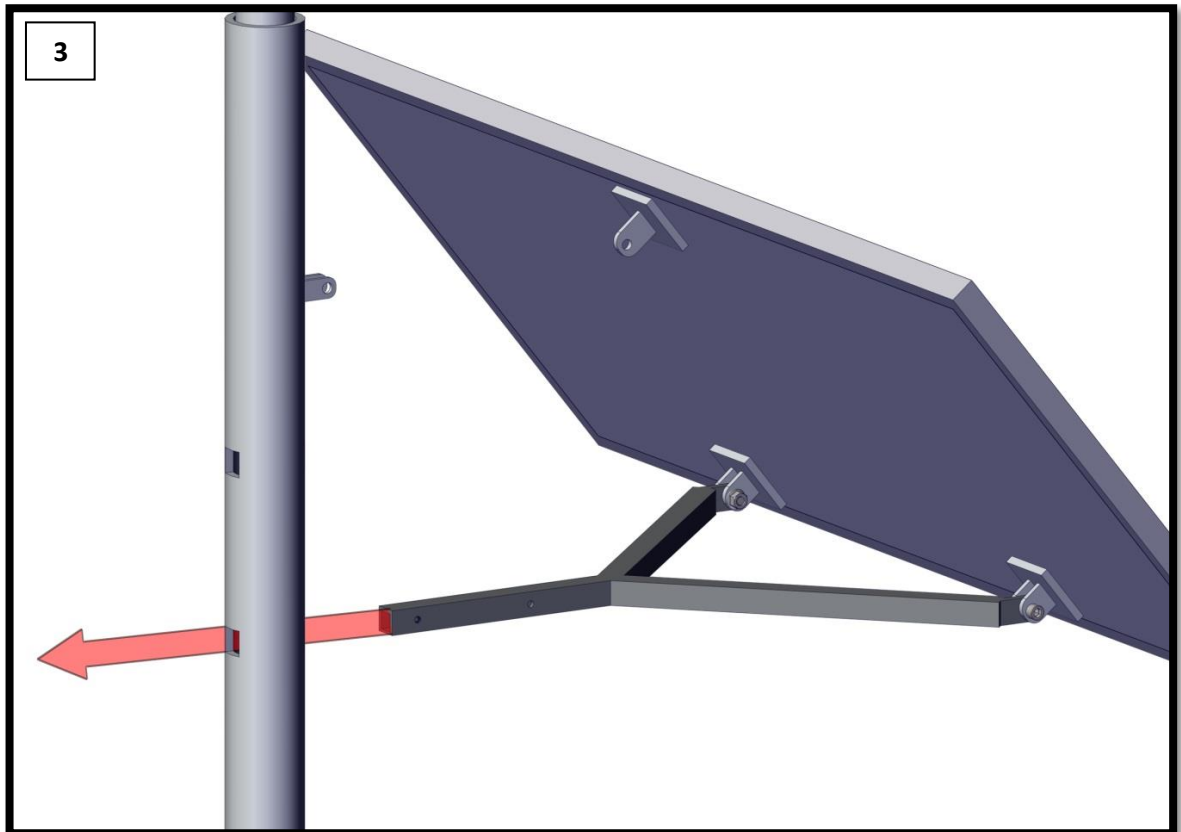
**PAS 1:** Encaixar la primera secció elevadora amb la base.



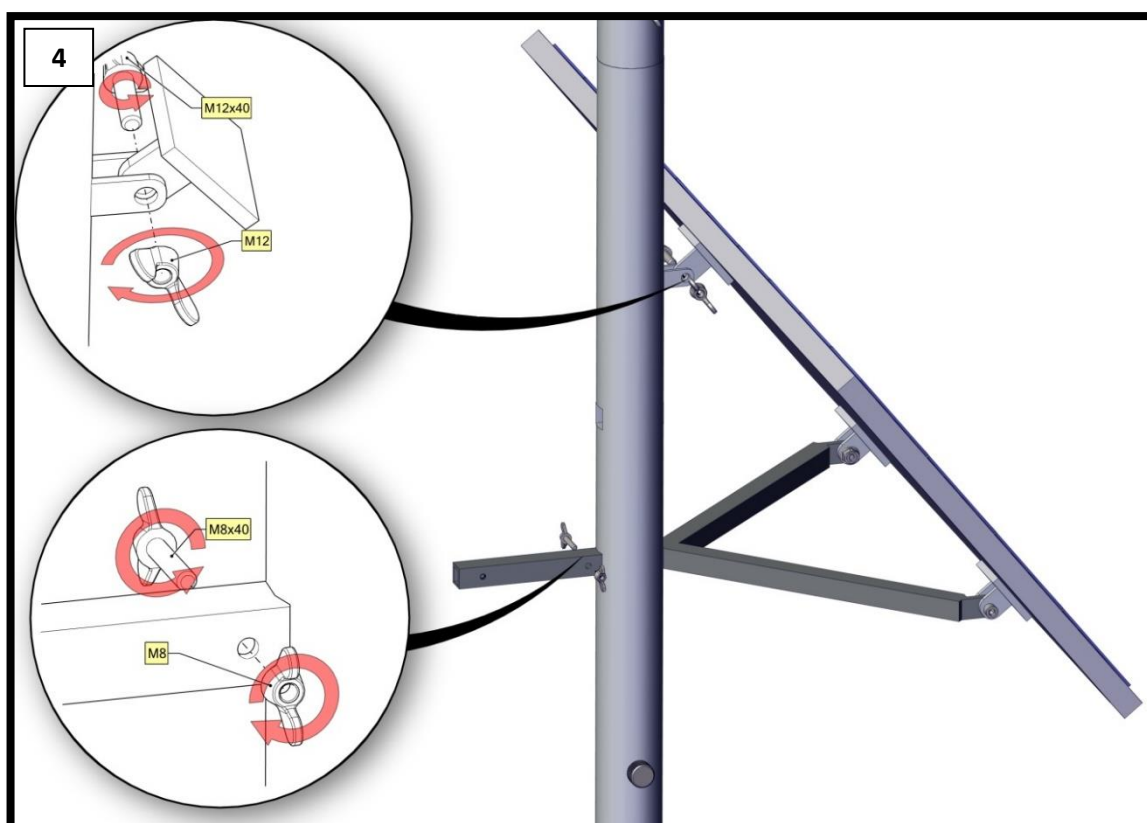
**PAS 2:** Introduir el passador personalitzat i collar-lo amb una femella amb papallona ISO 5448.



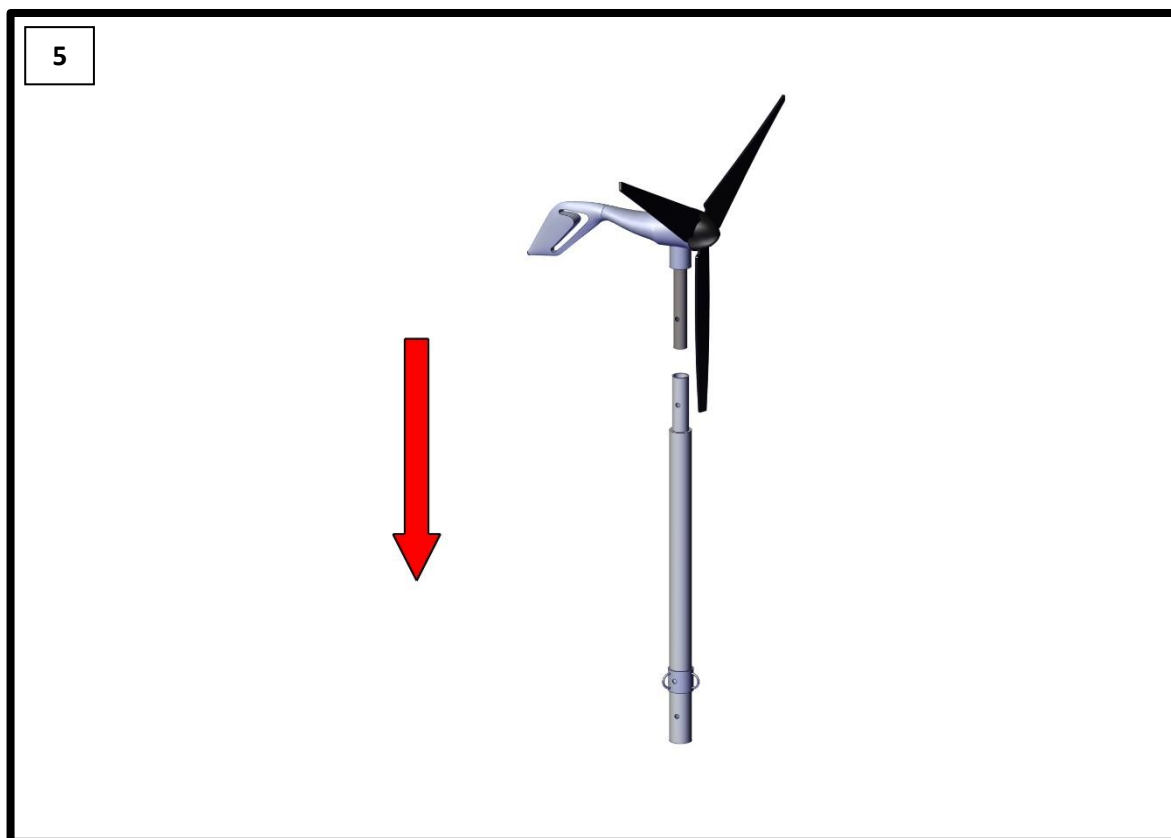
**PAS 3:** Intoduir l'extrem lliure del suport de la placa solar per un dels forats destinats a la primera secció elevadora. S'observarà que hi han dos forats destinats a tal efecte, el superior és l'indicat durant el període estival (Abril – Agost), i l'inferior s'ha d'utilitzar en el període hivernal (Setembre – Març). La inclinació que s'obtindrà amb la placa amb aquestes dues posicions serà l'òptima per a una latitud propera a Barcelona (**41.3889°**).



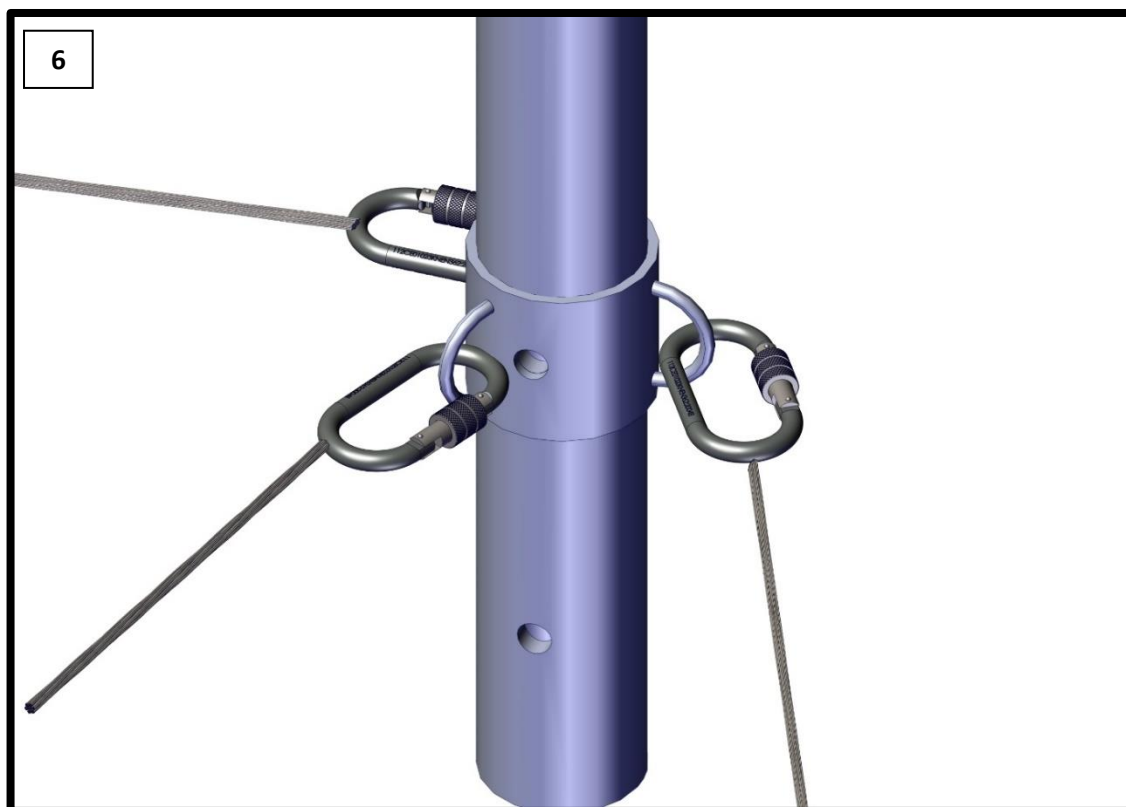
**PAS 4:** Collar la pestanya superior al cilindre utilitzant un cargol amb papallona DIN 316 i una femella amb papallona ISO 5448 de les mides indicades a la següent figura. Assegurar la placa solar collant un cargol amb papallona DIN 316 i una femella amb papallona ISO 5448 al suport de la placa.



**PAS 5:** Encaixar el suport del molí amb la segona secció elevadora.



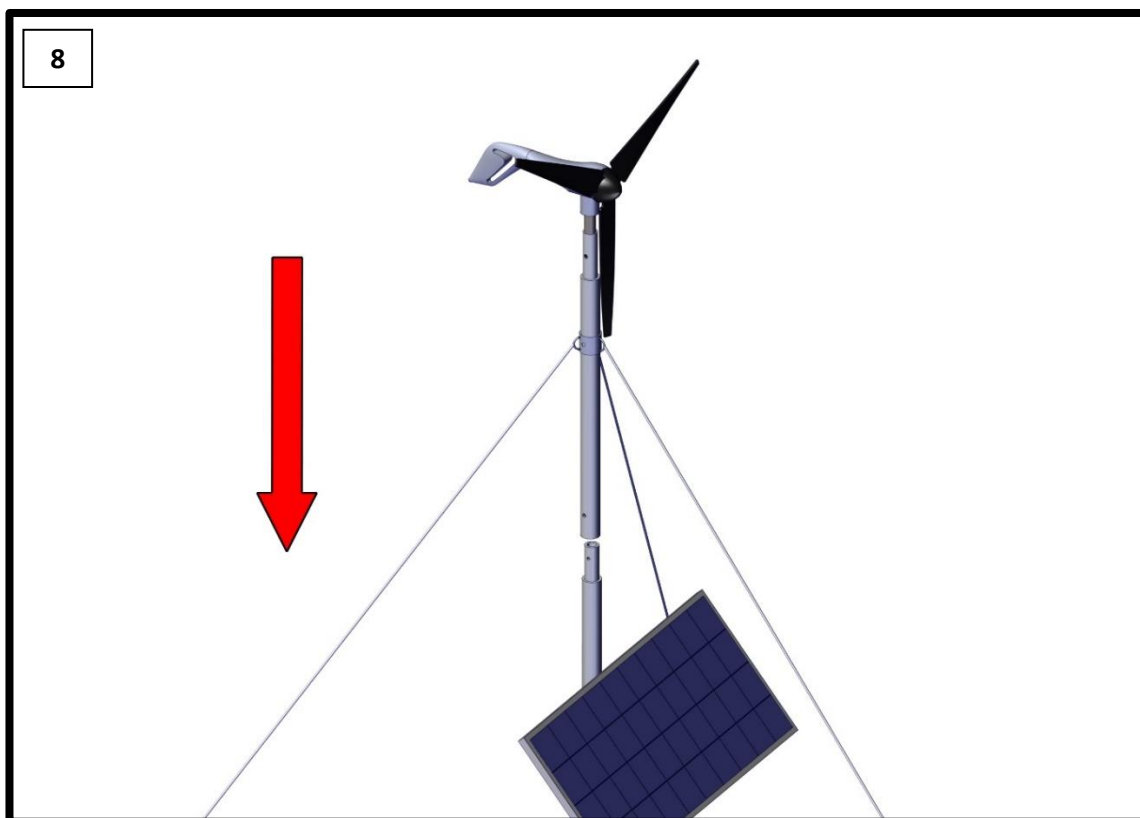
**PAS 6:** Col·locar els mosquetons a la brida de suport.



**PAS 7:** Collar els dos tubs utilitzant el cargol personalitzat i una femella amb papallona ISO 5448 amb les mides indicades a la figura.

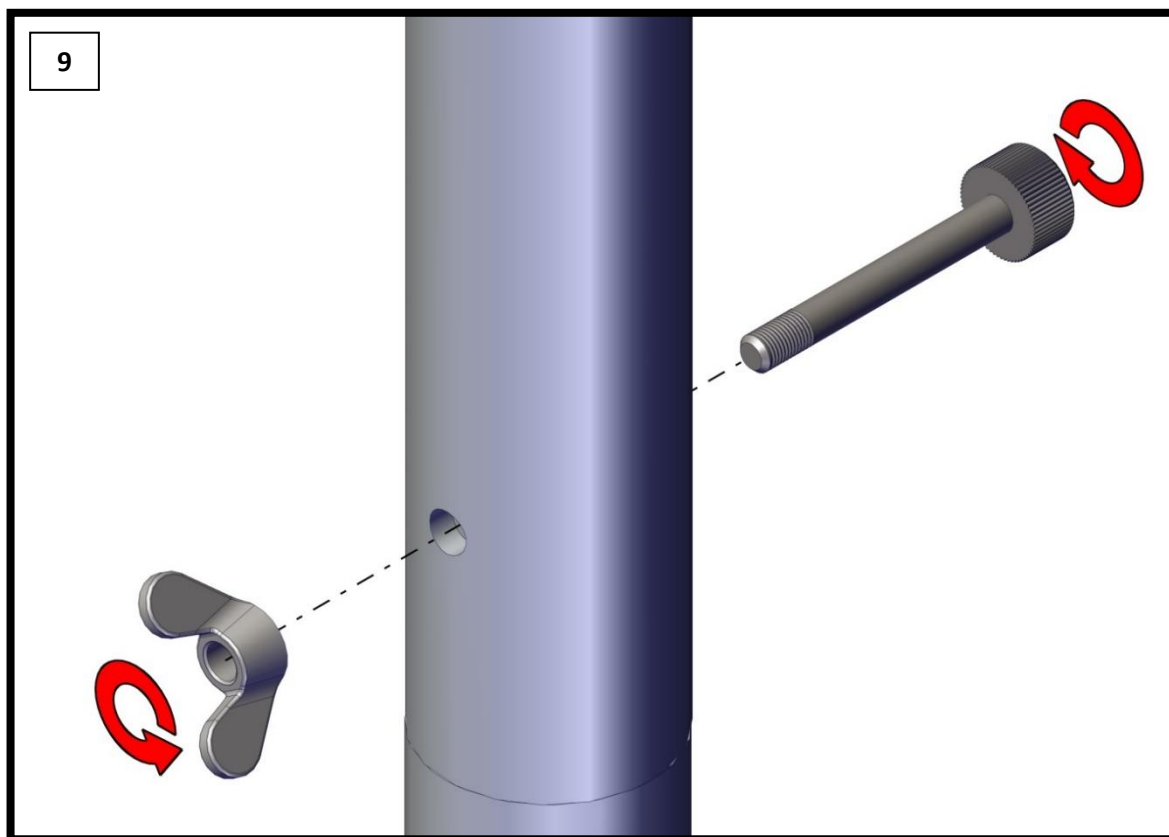


**PAS 8:** Encaixar les dues seccions elevadores.

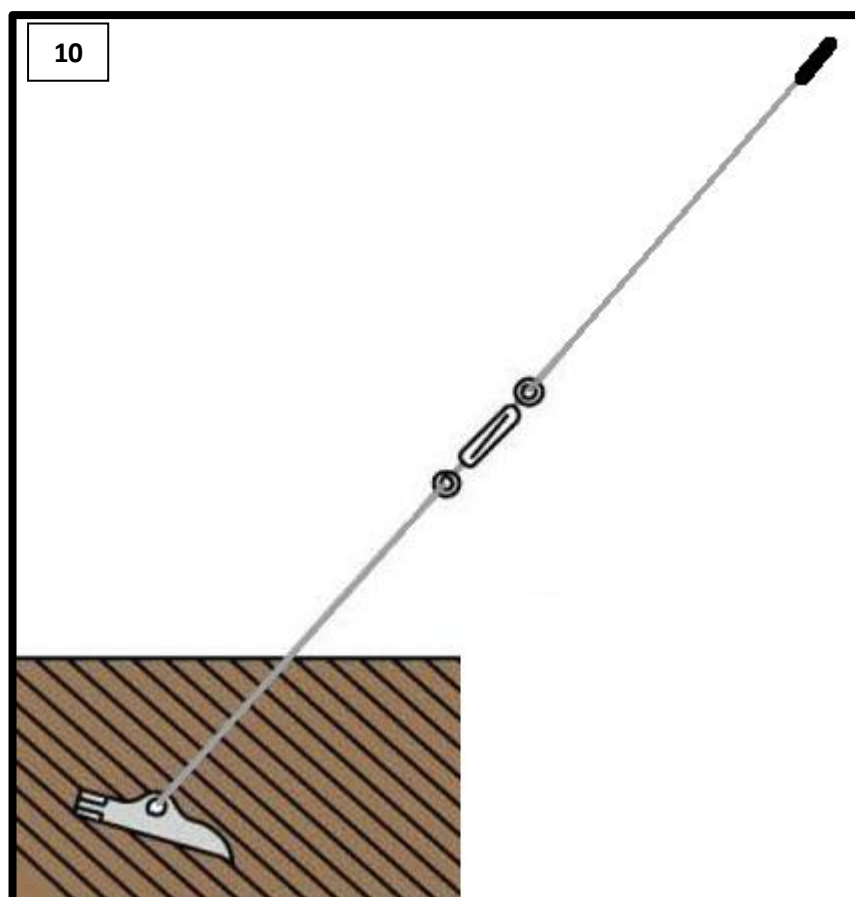




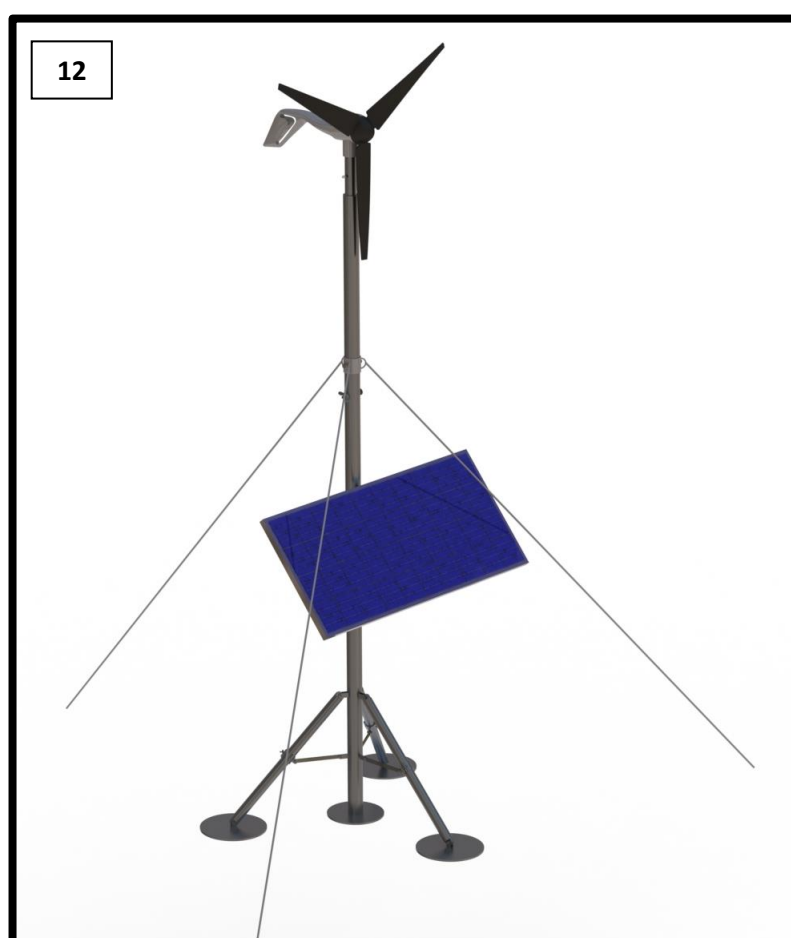
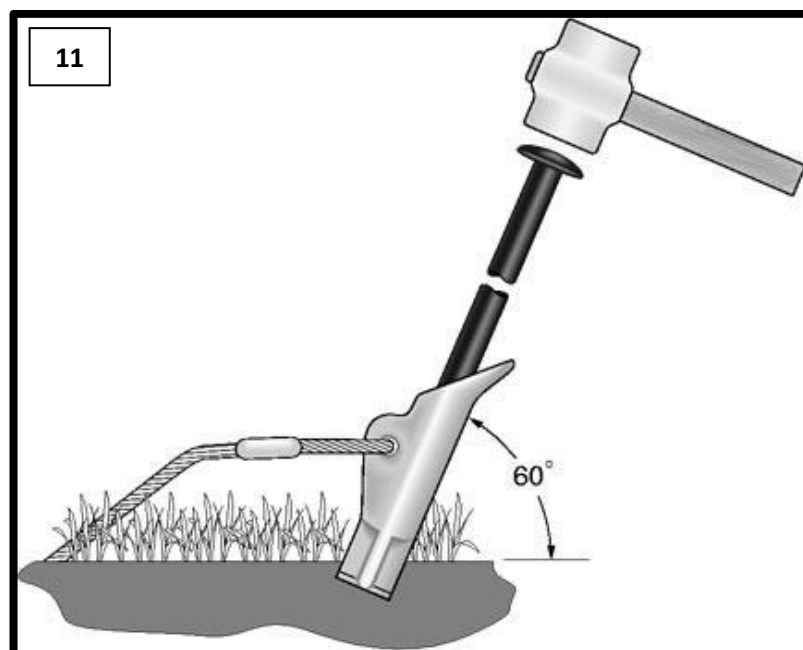
**PAS 9:** Collar els dos tubs utilitzant el cargol personalitzat i una femella amb papallona ISO 5448 amb les mides indicades a la figura.



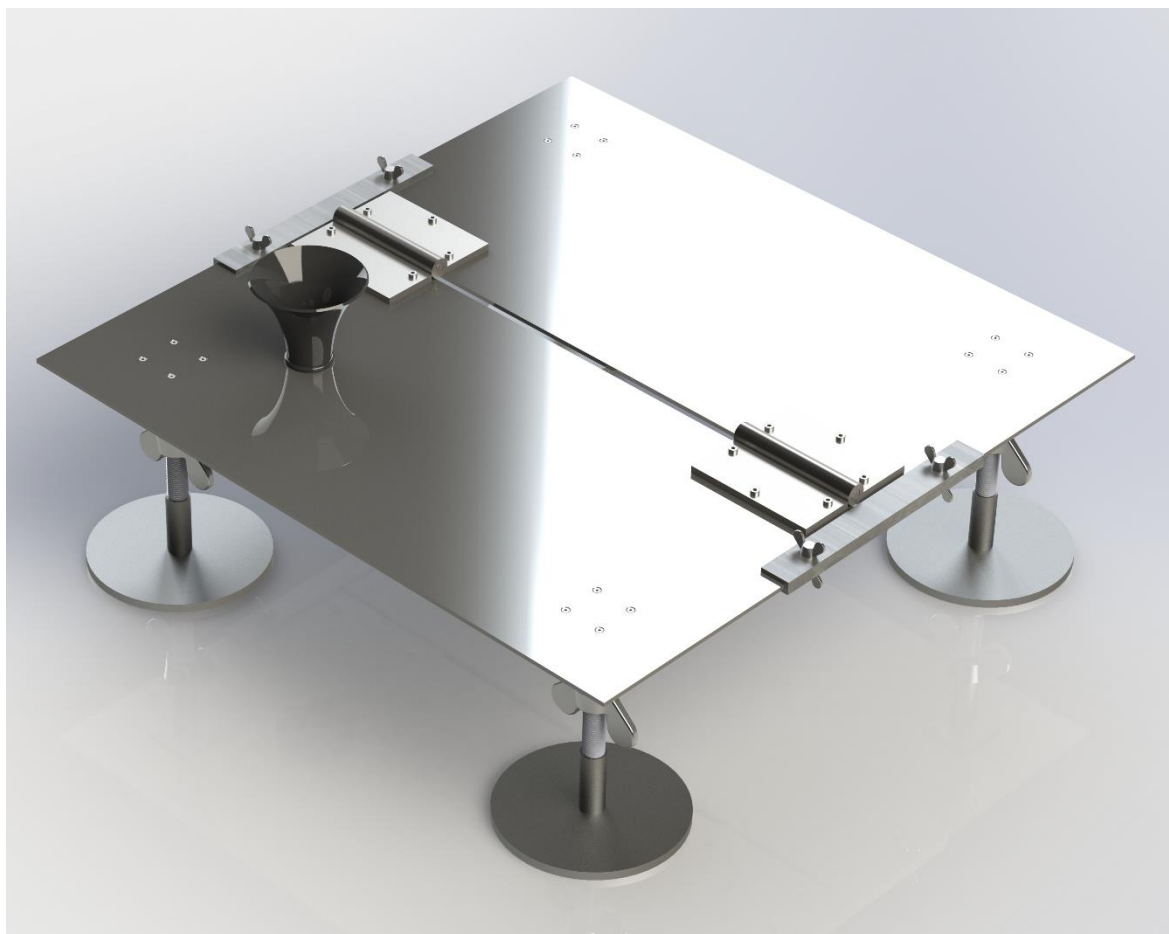
**PAS 10:** Connectar un extrem del tensor a l'extrem lliure del cable d'acer que prèviament hem enganxat al mosquetó i a la torre. L'altre extrem lliure s'ha de connectar al cable d'acer provinent de l'àncora. Realitzar l'operació per als tres cables.



**PAS 11:** Regular el tensor fins a la posició més allargada possible. Enfonsar l'àncora al sòl a una distància aproximada de la torre de 2,21m fins a una profunditat de 0,8 – 1 m utilitzant la barra conductora d'acer i un martell tal i com es mostra al següent esquema. Verificar que els cables queden paral·lels a les anelles de fixació de la torre com es mostra a la imatge 12. Estirar del cable repetidament per tal d'assegurar la posició de l'àncora. Finalment, ajustar el tensor de manera que el cable quedi tensat. Repetir per als tres tirants.



## Annex E. Manual preparació i muntatge plataforma aterratge

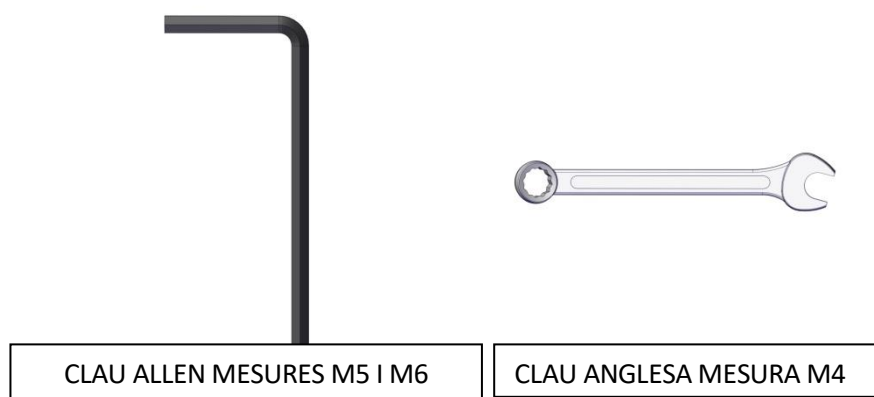


## Índex

E.1 Eines necessàries.....	137
E.2 Peces incoses.....	138
E.3 Preparació prèvia.....	140
E.4 Muntatge.....	144

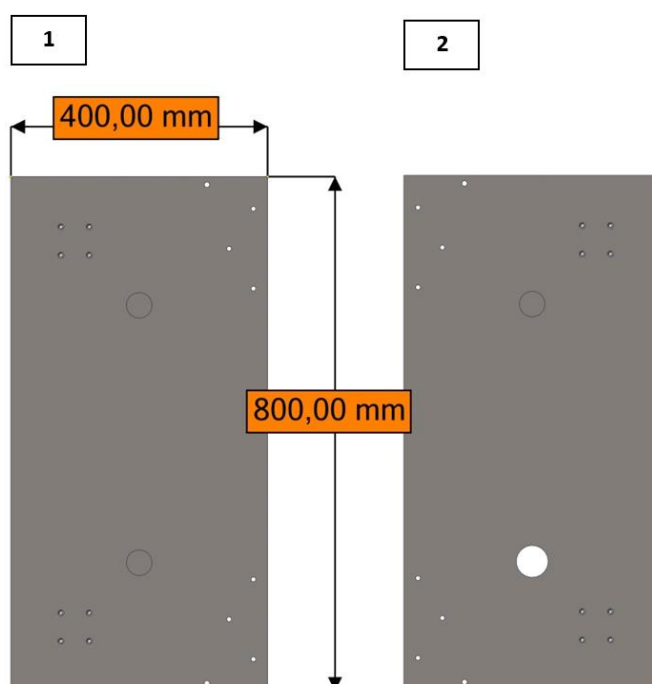
### E.1 Eines necessàries

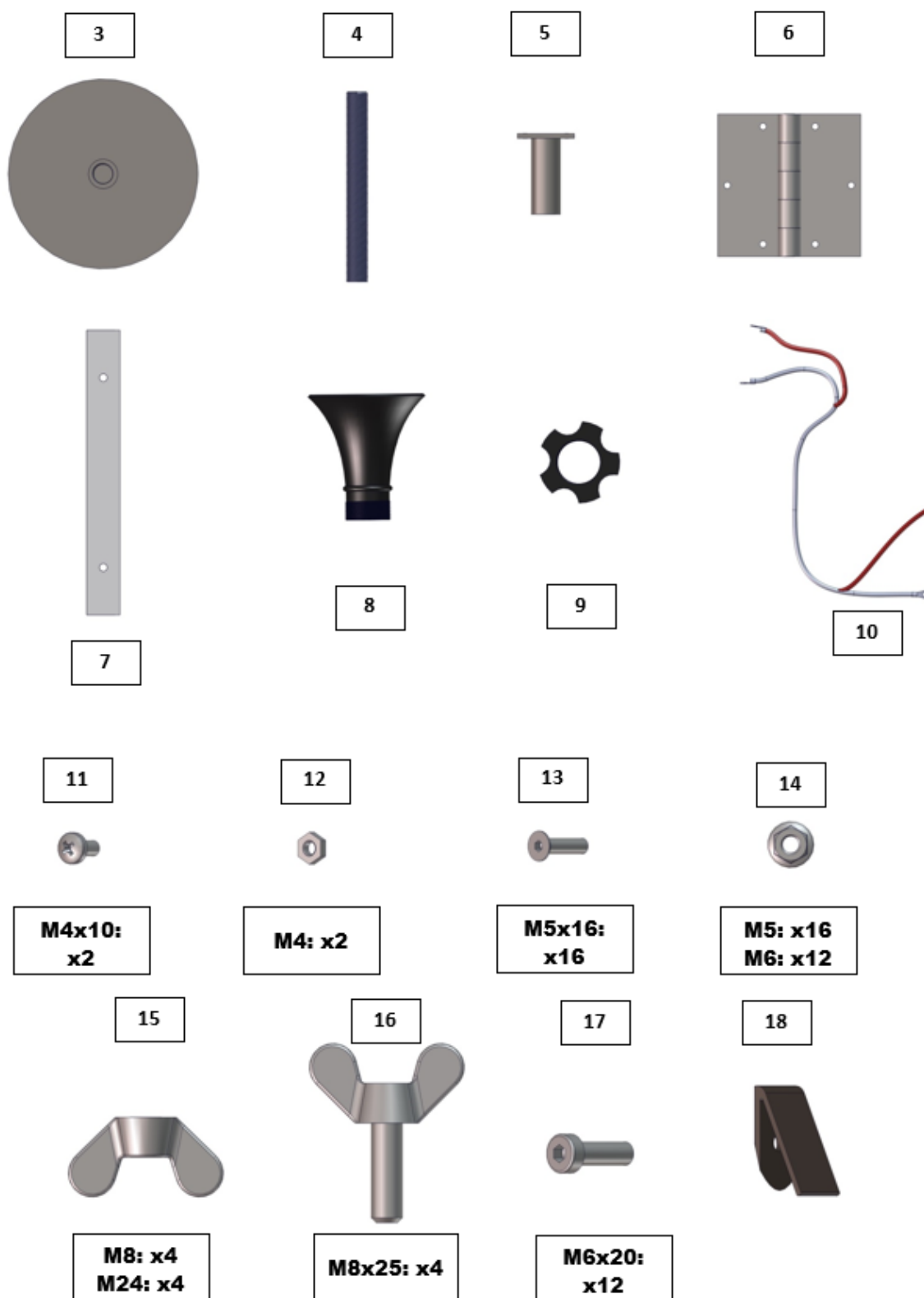
Degut a la senzillesa del disseny de la plataforma només seran necessàries tres eines i una persona per tal de realitzar la preparació prèvia. Per tal de muntar la plataforma en el lloc d'aplicació no serà necessària cap eina i també serà suficient amb una persona.



## E.2 Peces incloses

1. Planxa d'acer de 5mm de gruix (x1)
2. Planxa d'acer foradada de 5mm de gruix (x1)
3. Base d'acer (x4)
4. Pota roscada d'acer (x4)
5. Suport per la pota roscada d'acer (x4)
6. Frontissa (x2)
7. Guia fixadora (x2)
8. Con guia de plàstic (x1)
9. Femella con de plàstic (x1)
10. Cable de 16mm<sup>2</sup> amb dos borns de sortida (x1). ATENCIÓ: Born negre per el pol negatiu(-) i born vermell per el pol positiu (+)
11. Cargol ISO 7045
12. Femella ISO 4036
13. Cargol ISO 10642
14. Femella ISO 4161
15. Femella amb papallona ISO 5448
16. Cargol amb papallona DIN 316
17. Cargol ISO 14580
18. Pestanya de càrrega de coure (x1)





## E.3 Preparació prèvia

**PAS 1:** Situar les planxes en una superfície plana com es mostra a la figura 1.

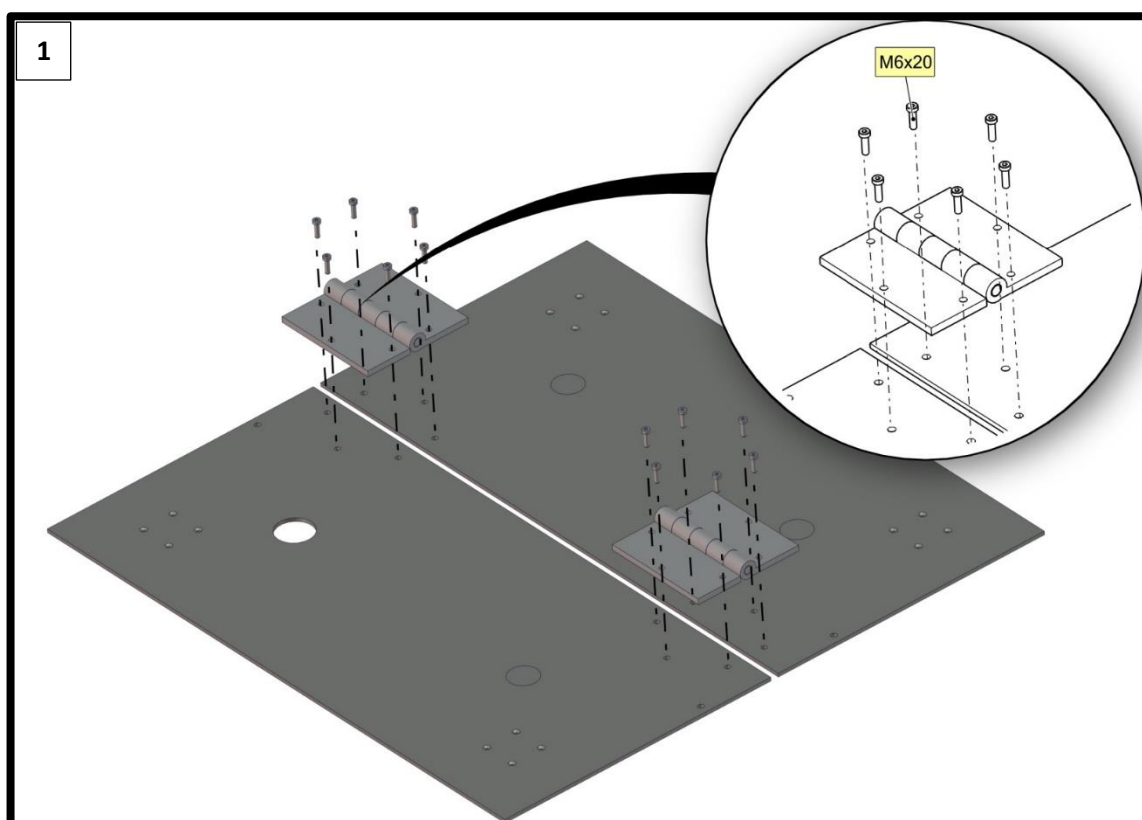
**PAS 2:** Posar les frontisses de manera que encaixin amb els forats mostrats.

**PAS 3:** Passar un cargol ISO 14580 per un dels forats.

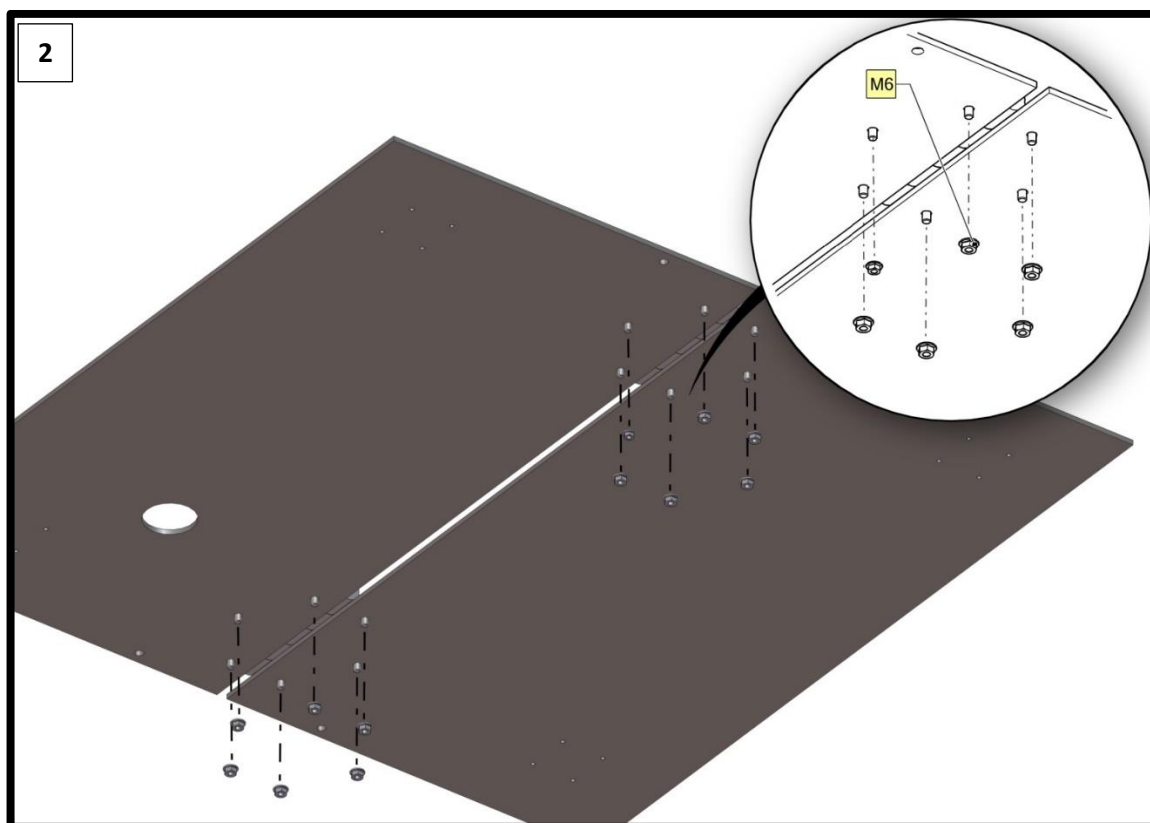
**PAS 4:** Collar lleugerament una femella ISO 4161 M6 per la part posterior de la placa com es mostra a la figura 2.

**PAS 5:** Mantenir fixa la femella amb una clau anglesa M6 mentrestant es colla el cargol amb una clau allen M6.

**PAS 6:** Realitzar els passos 3-5 fins haver cargolat els 12 cargols.







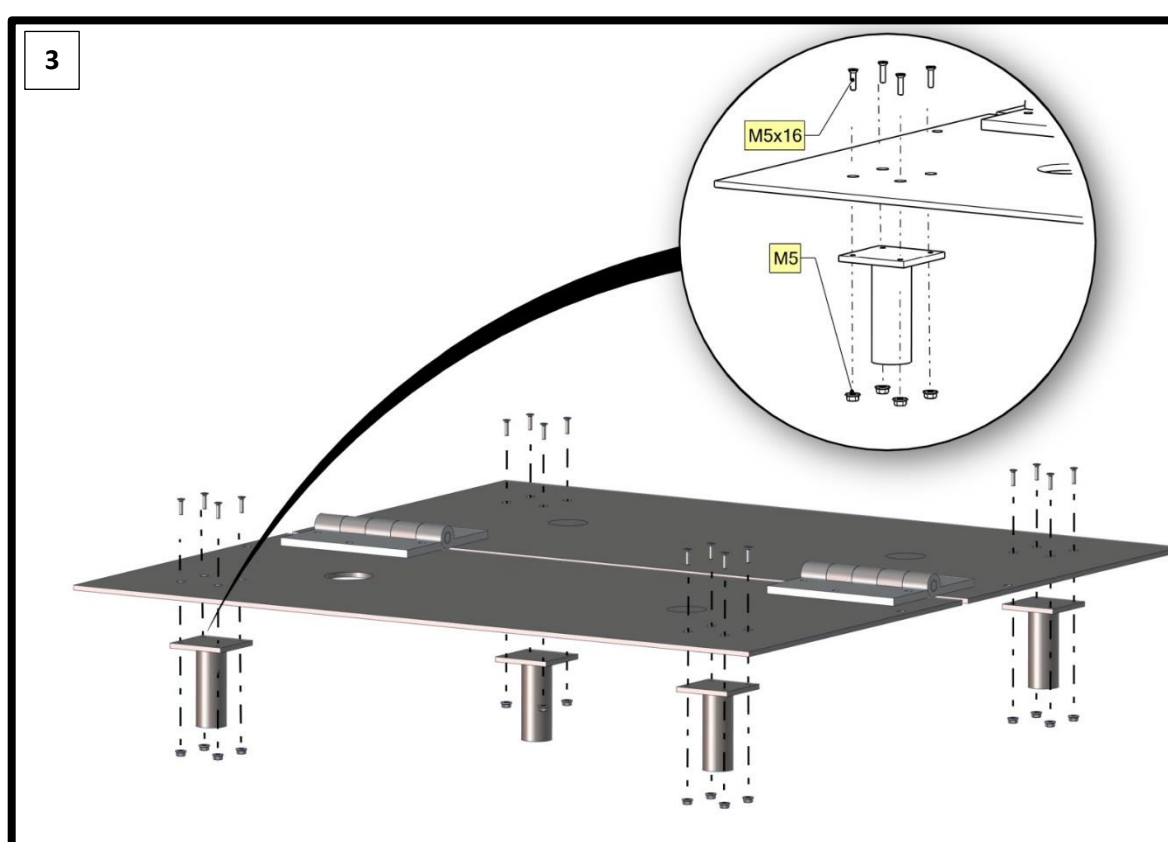
**PAS 7:** Posar els suports de les potes de manera que encaixin amb els forats mostrats a la Figura 2.

**PAS 8:** Passar un cargol ISO 10642 per un dels forats.

**PAS 9:** Collar lleugerament una femella ISO 4161 M5 per la part posterior de la placa com es mostra a la Figura 2.

**PAS 10:** Mantenir fixa la femella amb una clau anglesa M5 mentrestant es colla el cargol amb una clau allen M5.

**PAS 11:** Realitzar els passos 8-10 fins haver cargolat els 16 cargols.

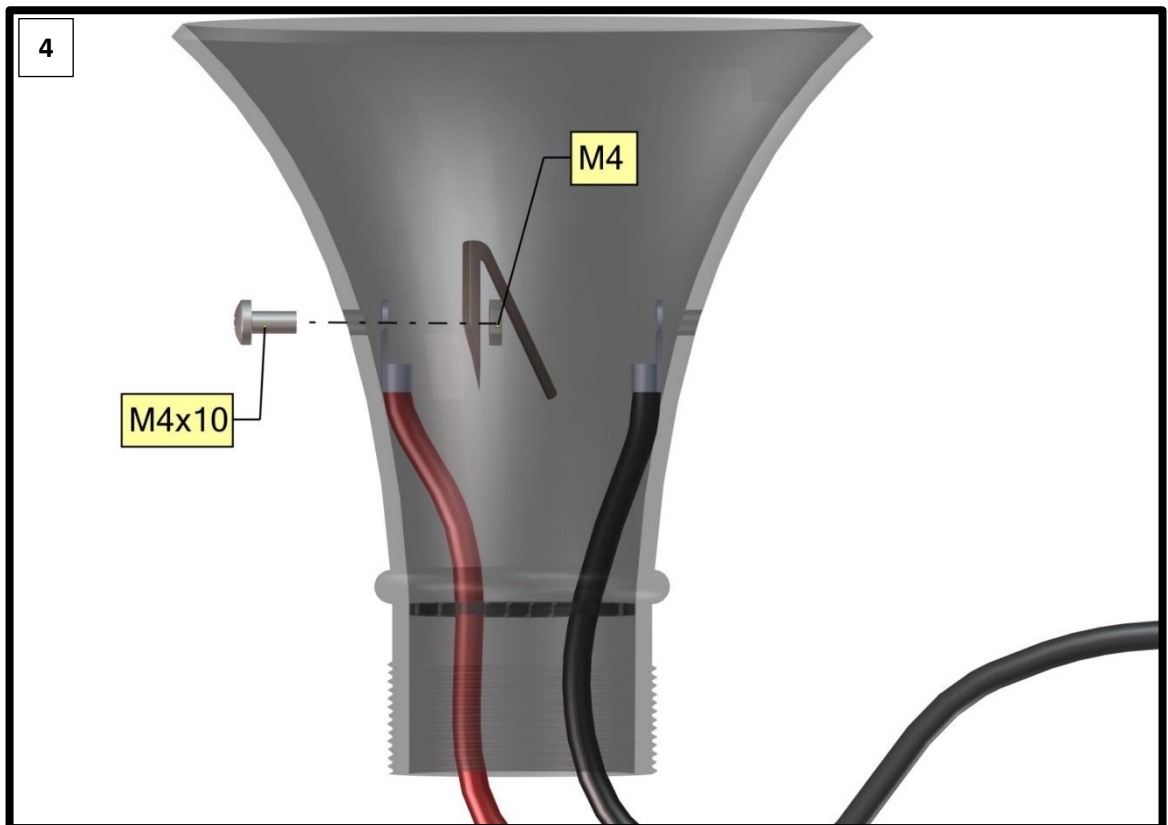


**PAS 12:** Passar els dos borns del cable per els forats de la malla del con.

**PAS 13:** Amb una mà sostenir la pestanya i la femella ISO 4036 i amb l'altre mà passar el cargol ISO 7045 i collar lleugerament.

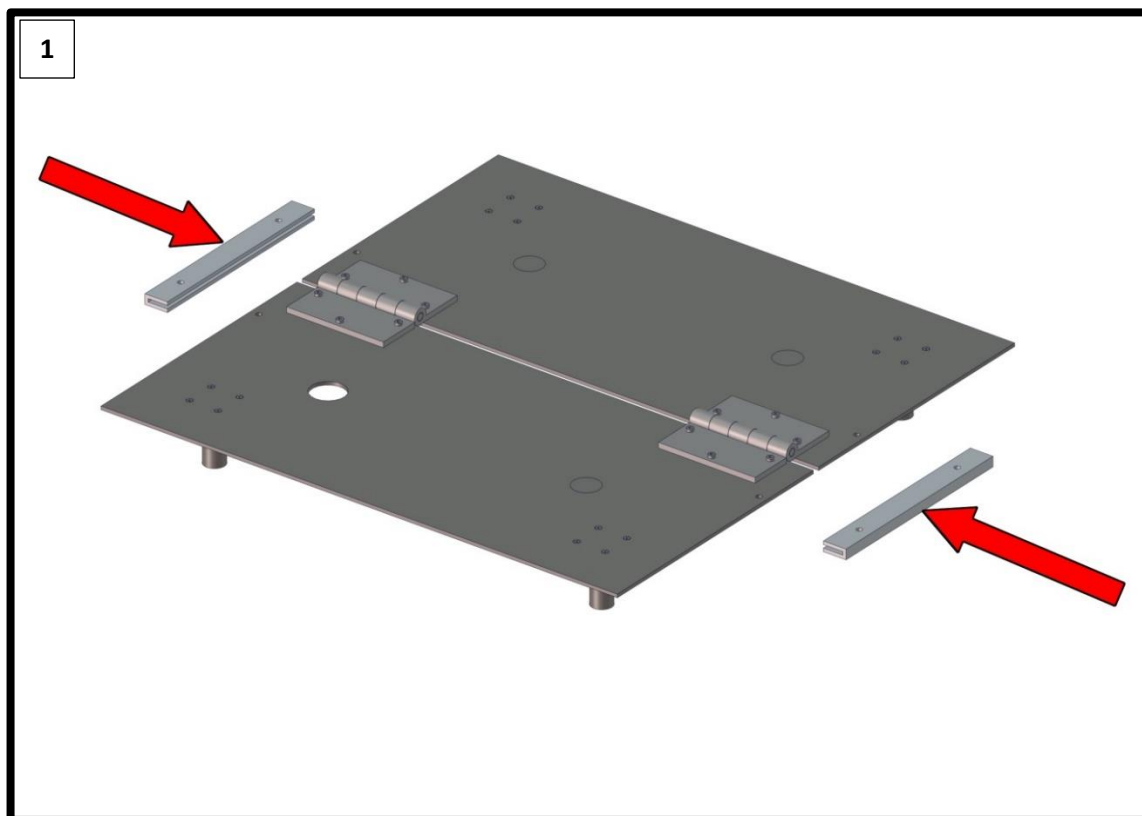
**PAS 14:** Amb l'ajuda d'un tornavís M4 acabar de cargolar el cargol. ATENCIÓ: No s'ha d'aplicar un parell de collament gaire alt ja que es podria trencar el con.

**PAS 15:** Repetir passos 13-14 per a l'altre born.



## E.4 Muntatge

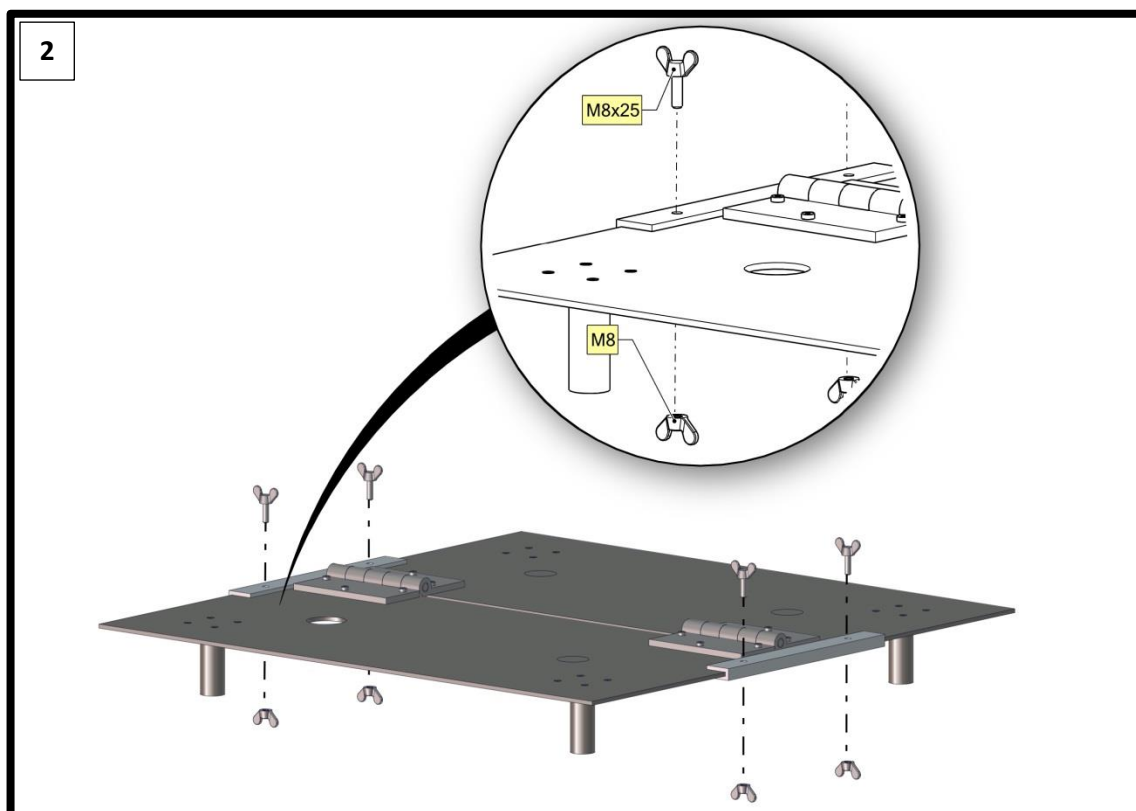
**PAS 1:** Col·locar les guies fixadores en la posició indicada a la figura.



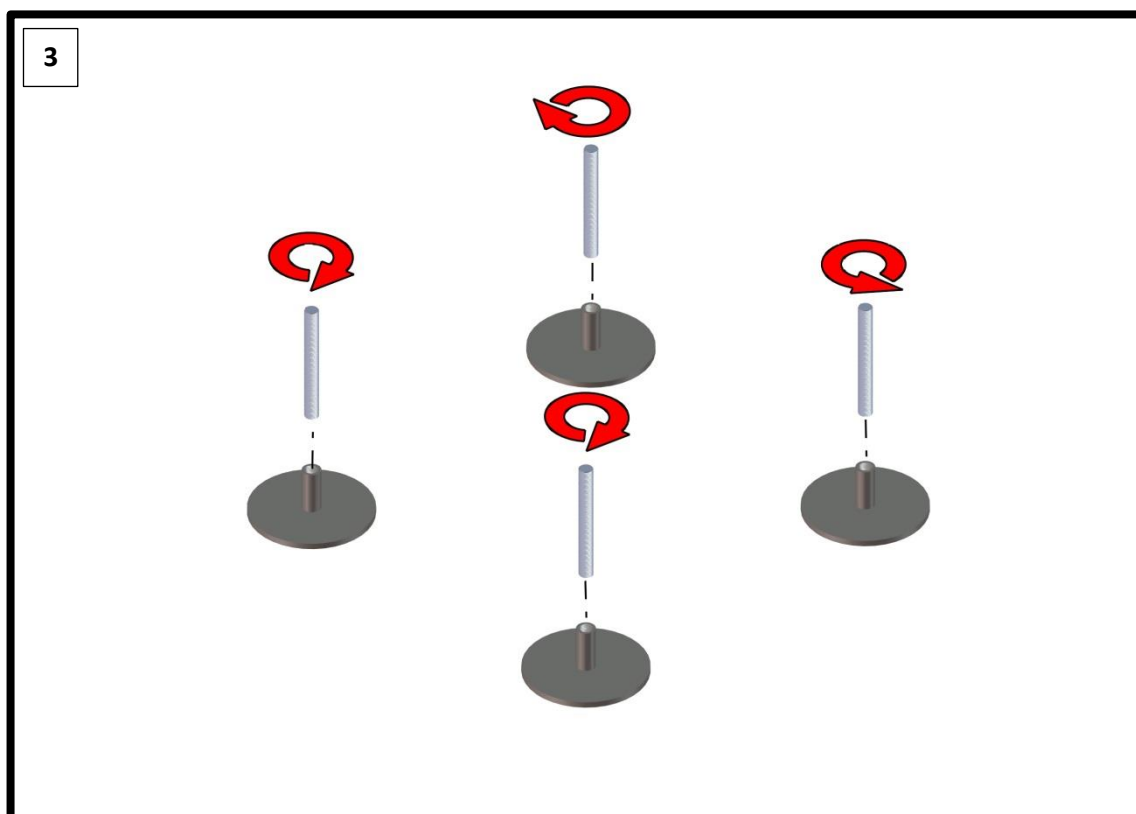
**PAS 2:** Passar un cargol amb papallona DIN 316 M8x25.

**PAS 3:** Collar el cargol amb la femella amb papallona ISO 5448 M8.

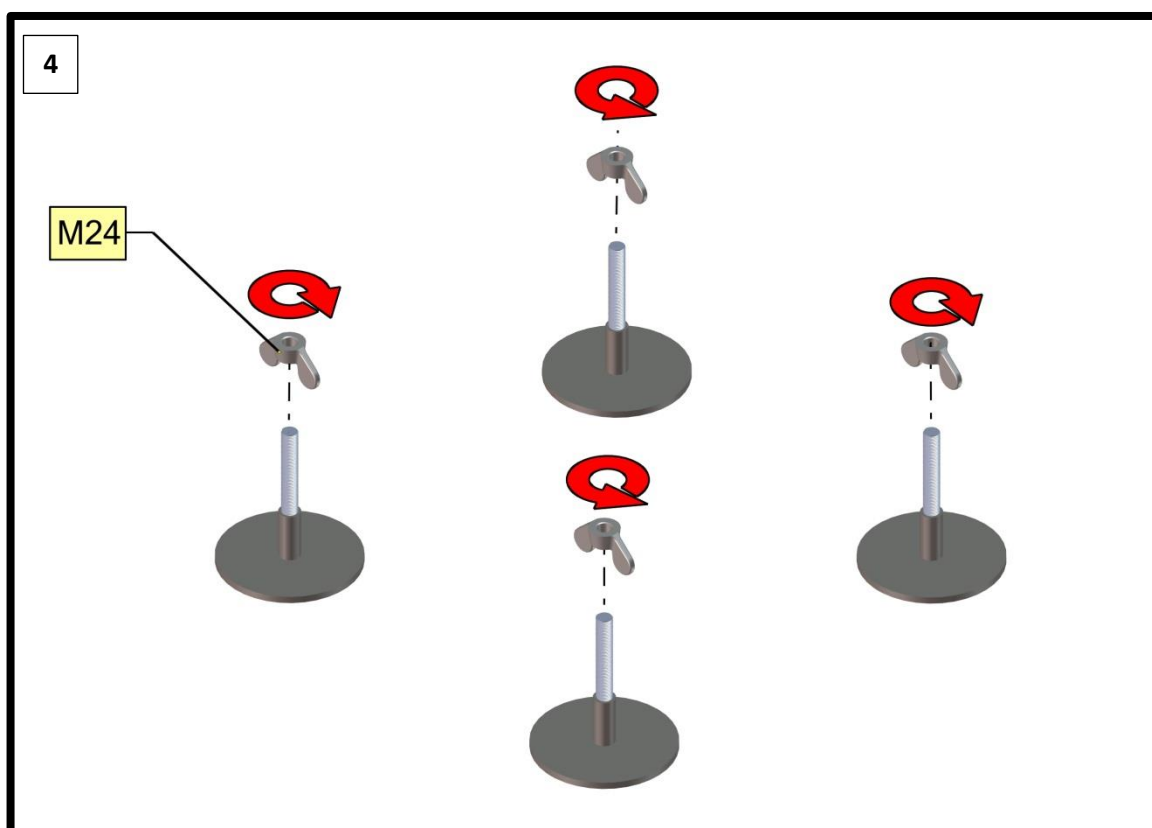
**PAS 4:** Realitzar els passos 2-3 per als quatre forats.



**PAS 5:** Collar cada pota cargolada amb una base. ATENCIÓ: Collar lleugerament.

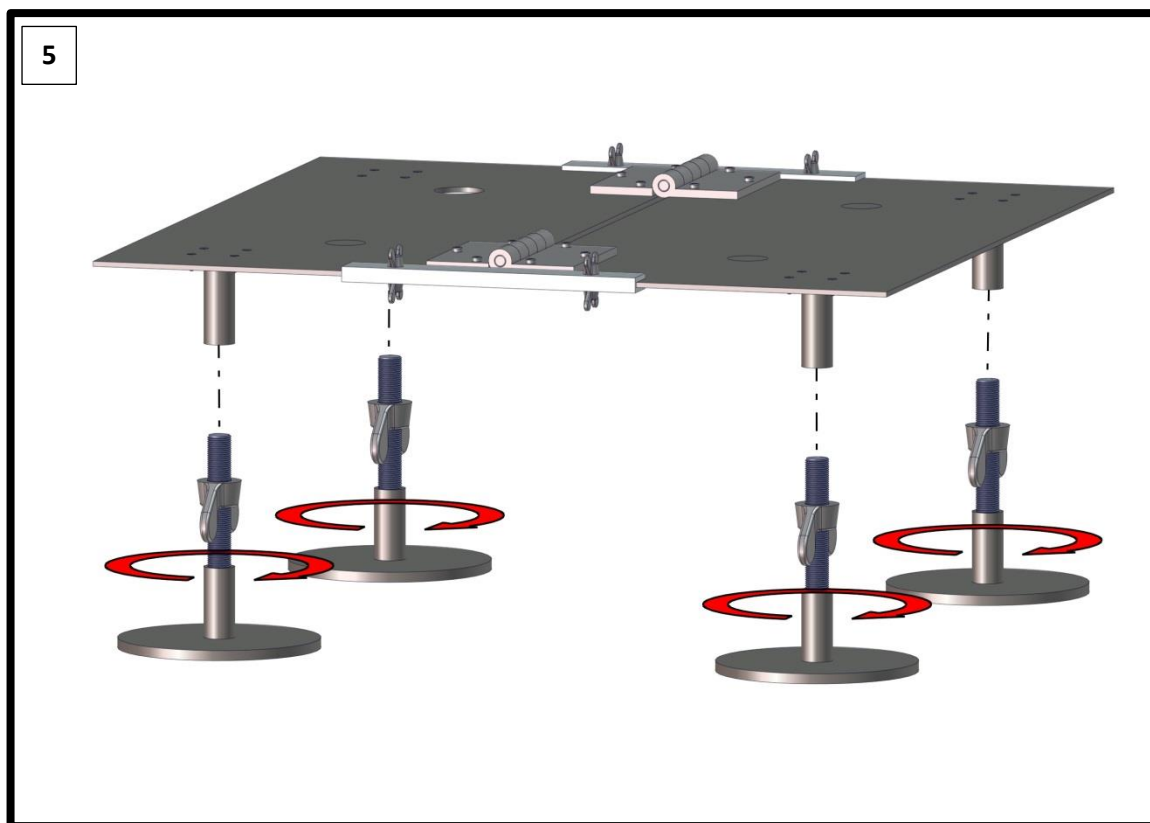


**PAS 6:** Collar les femelles amb papallona ISO 5448 M24 per l'extrem lliure de la pota cargolada.  
ATENCIÓ: Collar fins a la meitat de la pota aproximadament.



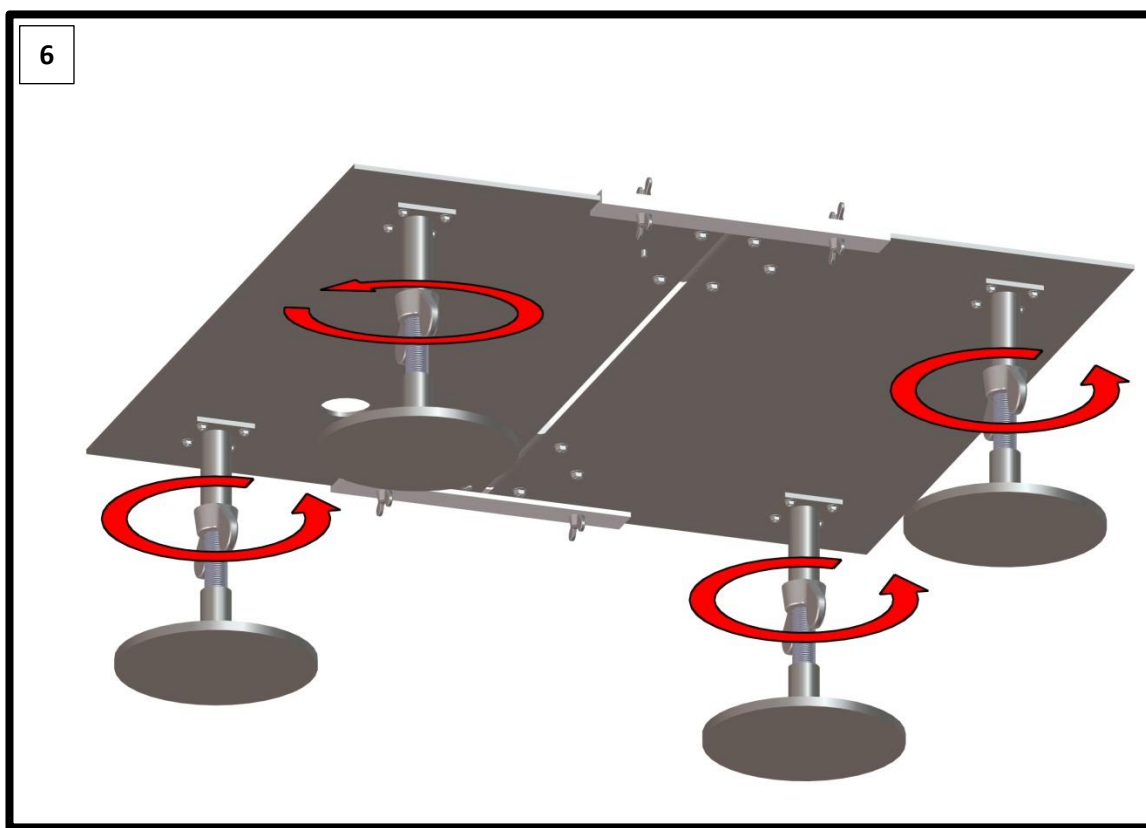
**PAS 7:** Collar lleugerament les quatre potes acoblades als suports com s'indica a la figura. ATENCIÓ: Collar fins a un mínim de 3cm.

**PAS 8:** Regular l'alçada de cada pota per tal que la base quedi el més horitzontal i estable possible.



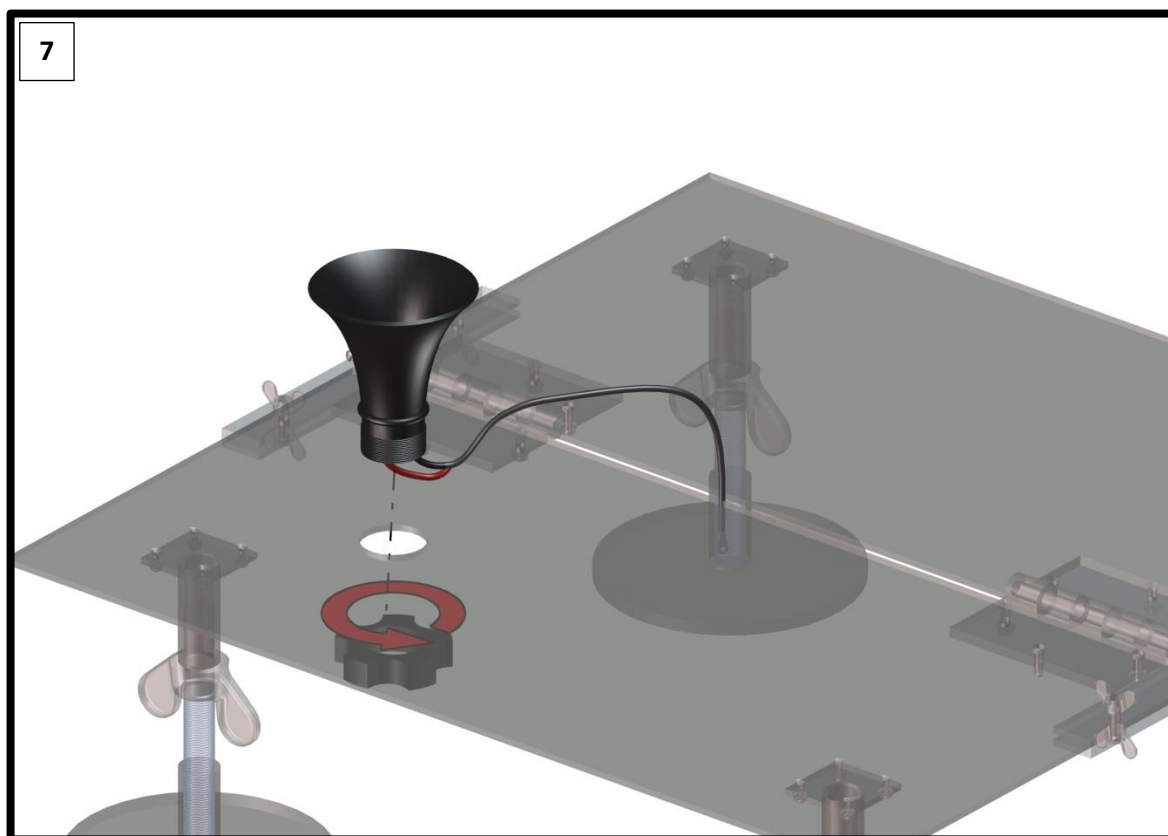


**PAS 8:** Roscar amb força les femelles amb l'extrem del suport de la pota.



**PAS 9:** Passar pel forat especificat els cables i el con tal com s'indica a la figura.

**PAS 10:** Roscar la femella de plàstic amb el con.



## Annex F. Fulls de característiques

### F.1 Full característiques placa solar



**Sunmodule<sup>®</sup>**  
**SW 150 poly R6A**




**SOLARWORLD**  
REAL VALUE

Data sheet




High Quality Engineering  
by SolarWorld

Quality made by SolarWorld



**TÜV Rheinland**  
CERTIFIED

TUV Power controlled:  
Lowest measuring tolerance in industry



**WARRANTY**

25 year performance warranty and  
5 year product warranty



SolarWorld quality standards go far beyond the norm. SolarWorld applies these high standards for product quality at all its production sites. SolarWorld specifications, quality guidelines and tests, and defined quality materials are the same throughout the world.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

Resistant to extreme weather conditions: SolarWorld modules, tested and certified, are resistant against sandstorms, high winds or saline environments.

[www.solarworld.com](http://www.solarworld.com)

# Sunmodule®

## SW 150 poly R6A



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SW 150
Maximum power	$P_{max}$	150 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	22.5 V
Maximum power point voltage	$U_{mp}$	18.3 V
Short circuit current	$I_{sc}$	8.81 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	8.27 A

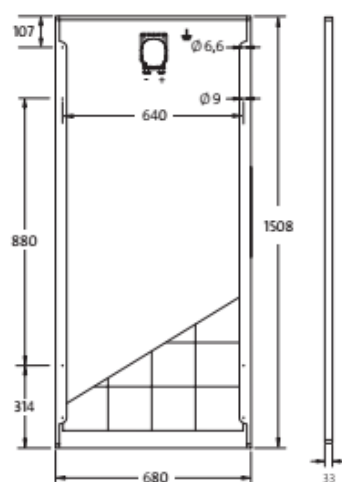
Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TUV Rheinland:  $\pm 2\%$  (TUV Power controlled)

\*STC: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SW 150
Maximum power	$P_{max}$	110.1 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	20.5 V
Maximum power point voltage	$U_{mp}$	16.6 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.17 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	6.62 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 100% ( $\pm 2\%$ ) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.



### COMPONENT MATERIALS

Cells per module	36
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	Tempered safety glass (EN 12150)
Back	Film, white
Frame	Clear anodized aluminum
J-Box	IP65

### DIMENSIONS / WEIGHT

Length	1508 mm
Width	680 mm
Height	33 mm
Weight	11.8 kg

### THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
$TK I_{sc}$	0.051 %/K
$TK U_{oc}$	-0.31 %/K
$TK P_{max}$	-0.43 %/K

### PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Power sorting	-5 % / +10 %
Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	15 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m <sup>2</sup>
Number of bypass diodes	2
Operating range	-40°C bis + 85°C



### ORDERING INFORMATION

Order number	Description
82000148	Sunmodule SW 150 poly R6A

SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

2016-06-20 EN

## F.2 Full característiques molí eòlic

### AIR Technical Specifications

Model	AIR Breeze and AIR 40
Weight	13 lb / 6 kg
Rotor Diameter	46 in / 1.17 m
Start Up Wind Speed	7 mph / 3.1 m/s
Kilowatt Hours/month	38 kWh/month @ 12 mph / 5.4 m/s avg. wind speed
Maximum Wind Speed	110 mph
Rated Power	160 watts @ 28 mph / 12.5 m/s wind speed
Operating Temperature Range	AIR Breeze and AIR 40 are certified under IEC requirements applying to the temperature range 14° F (-10° C) to 104° F (40° C). AIR 40 is CSA certified.

#### Voltage Regulation Set Point (factory setting)

12 Volt Systems	14.1 Volts
24 Volt Systems	28.2 Volts
48 Volt Systems	56.4 Volts

#### Regulator Adjustment Range

12 Volt Systems	13.6 to 17.0 Volts (approximately)
24 Volt Systems	27.2 to 34.0 Volts (approximately)
48 Volt Systems	54.4 to 68.0 Volts (approximately)

#### Recommended Fuse Size (AIR 40 and AIR Breeze)

12 Volt Systems	20 amp (slow blow)
24 Volt Systems	10 amp (slow blow)
48 Volt Systems	5 amp (slow blow)

#### Recommended Fuse Size (AIR 30)

12 Volt Systems	40 amp (slow blow)
24 Volt Systems	20 amp (slow blow)
48 Volt Systems	10 amp (slow blow)



#### Tower Loads

Shaft Thrust\* 52 lb @ 100 mph wind speed (230 N @ 45 m/s)

\*Value does not include safety factor. Primus Wind Power recommends safety factor of 1.5.

Model	AIR 30
Weight	13 lb / 6 kg
Rotor Diameter	46 in / 1.17 m
Start Up Wind Speed	8 mph / 3.6 m/s
Kilowatt Hours/month	30 kWh/month @ 12 mph / 5.4 m/s avg. wind speed
Maximum Wind Speed	110 mph
Rated Power	400 watts @ 28 mph / 12.5 m/s wind speed
Certifications	CSA, CE



AIR 30 wind turbines are eligible to bear the CSA mark with "C" and "US" indicators. The "C" and "US" indicators signify that the product has been evaluated to the applicable CSA and ANSI/UL standards for use in Canada and the US.

